

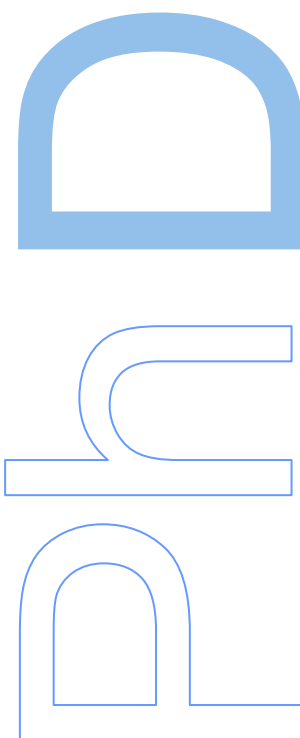
Estudo da Aplicação do “*Inquiry-Based Learning*” Através da Ferramenta Experimental “*Photonics Explorer Kit*” como Complemento ao Ensino da Ótica no Nível Básico

Francisco Antonio Gudemberg Almeida Moura

Orientador: Dr. Paulo Simeão de Oliveira Ferreira de Carvalho

Tese de Doutoramento apresentada à
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto,
Doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências,
Unidade de Ensino das Ciências.

Porto, Portugal, 2018





**Estudo da Aplicação do “*Inquiry-Based Learning*”
Através da Ferramenta Experimental “*Photonics
Explorer Kit*” como Complemento ao Ensino da
Ótica no Nível Básico**

Francisco Antonio Gudemberg Almeida Moura

Tese de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto,
Doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências, Unidade de Ensino das Ciências.

Porto, Portugal, 2018

Dedico esta tese às pessoas mais importantes da minha vida,
meus pais, irmãos e a minha esposa Andreia Borges,
por todo o amor e apoio que sempre me deram.

AGRADECIMENTOS

Desde o início, muitas pessoas contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste doutoramento do qual resultou esta tese. Deste modo, seria difícil citar a todos aqui neste espaço, assim peço desculpas pelas inevitáveis omissões.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Paulo Simeão de Oliveira Ferreira de Carvalho, pela generosidade, paciência, transmissão de conhecimentos, atenção em assuntos académicos e pessoais. Mais do que um professor, foi um amigo, que sem dúvida alguma, levo como exemplo de profissional e de homem bom e justo.

Ao professor Adriano António da Luz Sampaio e Sousa pela colaboração valiosíssima com os trabalhos práticos e teóricos relacionados com esta investigação sobre o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*”.

Ao professor Dr. João Carlos de Matos Paiva que sempre foi muito atencioso e solícito, não somente comigo, mas com todos os estudantes brasileiros.

A todos os professores do doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pela transmissão de conhecimentos, dedicação, comprometimento e disponibilidade.

Aos professores e estudantes das escolas que colaboraram com o projeto “*Photonics Explorer*”, sem os quais não seria possível verificar as práticas relacionadas a esta ferramenta pedagógica.

A equipe da “Vrije Universiteit Brussel” que financiados pela “Eyest_{vzw}” (*Excite Youth for Engineering, Science and Technology*) ofereceram o treinamento sobre o “*Photonics Explorer*” em Bruxelas, Bélgica.

A Sociedade Portuguesa de Física – SPF, Fábrica das Ciências da Universidade de Aveiro e a Rede de Centros Ciência Viva, pelos investimentos na compra e distribuição dos “*kits*” experimentais “*Photonics Explorer*” e implementação dos “*workshops*” oferecidos aos professores participantes.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, pelo apoio e incentivo para realização deste doutoramento com o objetivo de evolução profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro tão importante e indispensável para a realização deste curso na Europa.

A todos os amigos do Brasil, de Portugal e de outros países, que conheci durante minha estadia na Europa, pelo apoio, convivências e boas conversas.

A toda a minha família do Brasil e àquela que me acolheu em Portugal, que sempre estiveram felizes com as minhas vitórias e apoiaram-me nos momentos de dificuldade. Em especial, aos meus pais e irmãos, a minha companheira Andréia Borges, a minha madrinha Virgiana Maria, tios e primos do estado do Ceará e Piauí, e minha avó materna Francisca de Almeida que foi uma grande mulher e durante toda minha vida uma segunda mãe.

Muito obrigado a todos pelo apoio e por me incentivarem na busca de conhecimento.

Trabalho realizado no âmbito do Programa de Bolsa de Estudos para Doutorado Pleno no Exterior financiado pelo CNPq/Brasil - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do processo 233520/2014-7.



**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E
COMUNICAÇÕES**

RESUMO

Nos últimos anos tem-se assistido a um grande esforço por parte de vários países em investir na educação científica das populações, sobretudo nos jovens em idade escolar. Todavia, nota-se nas salas de aula a desmotivação dos professores por conta dos baixos resultados de aprendizagem e desinteresse pela ciência por parte dos estudantes. Este cenário tem como consequência a procura cada vez menor pelos jovens por carreiras nas áreas das ciências e tecnologia, após concluírem os níveis básico e secundário de ensino. No ensino da Física isto é particularmente evidente em áreas como a ótica, que na maioria das vezes é ensinada de forma muito teórica e poucas vezes associada às suas aplicações tecnológicas, mesmo aquelas presentes na vida diária.

Para tentar mudar esta realidade no ensino das ciências, têm sido realizados investimentos no desenvolvimento de novas ferramentas pedagógicas associadas a estratégias de ensino e aprendizagem ativas. Um ótimo exemplo é a ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer kit*”, cuja implementação é associada à metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, desenvolvida pela “*Eyest*” para o ensino da óptica nos níveis Básico e Secundário europeus - (Eyest, 2017).

A prática docente nos revela que toda ferramenta/método deve ser abordada não somente de forma teórica, mas coadjuvada por uma forte componente prática, já que é na prática da sala de aula que podemos verificar os seus reais benefícios. Com este objetivo, investigamos em que medida uma abordagem extracurricular, complementar ao ensino tradicional, para alunos voluntários a frequentar um Clube de Ciências baseada na aplicação do “*Photonics Explorer*” numa perspectiva metodológica baseada no “*Inquiry-Based Learning*”, melhoraria o domínio conceitual da ótica e estimularia o interesse pela ciência dos alunos do Ensino Básico.

A investigação foi implementada com “*design*” **quase-experimental**, (Campbell & Stanley, 1979), com **delineamento de grupo-controle não equivalente**, com aplicação de técnicas

essencialmente quantitativas (Saha & Dworkin, 2009), embora pontualmente sejam feitas análises de natureza qualitativa. O Universo da investigação foi delimitado para alunos do 8º ano do Ensino Básico (3º ciclo) de 24 escolas do ensino público do norte de Portugal. Os professores das escolas que utilizaram o “*kit*” com os alunos participaram na formação “*Photonics Explorer*”, de 25 horas presenciais (1 crédito de formação contínua), ministrada no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, no âmbito do projeto “Haja Luz nas Escolas”, (AIL2015, 2017). A amostra real foi de 4 escolas e 60 estudantes (30 do grupo experimental e 30 do grupo controle), pertencentes à região do Porto, com idade escolar regular para o 8º ano (13 anos), representando em relação ao Universo 16,7% e 12,5%, para escolas e estudantes, respectivamente.

Numa fase pré-experimental, os 8 módulos (Básico e Secundário) do “*Photonics Explorer*” foram implementados de forma piloto em duas escolas do Porto para obtenção de dados preliminares que permitissem ajustes para a intervenção principal.

Após os estudos preliminares, a aplicação da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” associada à ferramenta “*Photonics Explorer*” no ensino de ótica, ocorreu para os alunos do grupo experimental das escolas tomadas como amostra, onde o espaço dedicado às atividades foi organizado na forma de Clube de Ciências. As atividades do “*Photonics Explorer*” aplicadas no Nível Básico (originalmente chamado de “*Lower Secondary Level*”), apresentavam a distribuição dos conteúdos de ótica por grau de dificuldade operacional e hierarquização conceitual. A ferramenta utilizada na investigação para obtenção dos dados quantitativos e avaliação da aprendizagem conceitual de ótica, foi um teste com perguntas de carácter conceitual com respostas de múltipla escolha desenvolvido dentro deste estudo, (Anexo 2 – teste de ótica, 8.2.2.1). Além disso, as observações diretas feitas pelos investigadores e professores colaboradores foram utilizadas para inferências qualitativas.

Os resultados da investigação mostraram que considerando as observações realizadas e as estatísticas para o pré e pós-teste conceitual, assim como as limitações do estudo, houve melhoria significativa do grupo experimental após a utilização do “*Photonics Explorer*” conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como complemento à aprendizagem da ótica, enquanto a melhoria da aprendizagem não foi tão evidente para o grupo controle o qual teve instrução apenas por métodos tradicionais. É importante destacar que os resultados do grupo experimental foram superiores quando comparados aos do grupo controle (mesmo tendo resultado absoluto positivo) para a variável Ganho.

Pôde ser verificado através das observações diretas, que o ensino e aprendizagem da ótica no Nível Básico, quando apoiado adequadamente por uma instrução do tipo “*Inquiry-Based Learning*” através da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*”, gera efeitos positivos nos estudantes, nomeadamente na aprendizagem conceitual, autonomia e desenvolvimento de competências para a resolução de problemas, bem como na motivação para o estudo da ótica. Por conta destes bons resultados observados ao longo da intervenção experimental, ficou perceptível o entusiasmo dos professores e dos alunos que trabalharam com a ferramenta pedagógica e com a metodologia.

Portanto, com base nos resultados quantitativos, observações realizadas e nas limitações destacadas para o estudo, se concluiu que a ferramenta “*Photonics Explorer*” implementada conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como complemento ao ensino e aprendizagem conceitual da ótica no Nível Básico, estimula a autonomia e interesse pela Física e ciência de modo geral, possibilita de forma significativa a aprendizagem conceitual, além de permitir que o professor seja um orientador e não somente um transmissor de informações, quando comparado à práticas, metodologias e estratégias tradicionais.

Palavras-chave: “*Photonics Explorer*”; “*Inquiry-Based Learning*”; Ensino das ciências; Ensino da ótica; Aprendizagem conceitual; Aprendizagem eficaz.

ABSTRACT

In recent years, there has been a great effort by several countries to invest in the scientific education of populations, especially in school-age youth. However, we can note in the classrooms the lack of motivation of teachers due to the low learning results and lack of interest in science by the students. This scenario results in the ever-lower search by young people for careers in the areas of science and technology, after completing the basic and secondary levels of education. In the teaching of physics, this is particularly evident in areas such as optics, which are most often taught in a very theoretical way, and seldom associated with their technological applications, even those present in daily life.

In order to try to change this reality in science education, investments have been made in the development of new pedagogical tools associated with active teaching and learning strategies. A great example is the Photonics Explorer kit, a pedagogical tool whose implementation is associated with the Inquiry-Based Learning methodology, developed by "Eyest" for the teaching of optics at the Secondary (lower and upper) Levels of Europe - (Eyest, 2017).

The teaching practice reveals that every tool or method should have an approach not only theoretically, but also with a strong practical component, since it is in the classroom practice that we can verify its real benefits. With this goal, we investigated the extent to which an extracurricular approach, complementary to traditional teaching, for volunteer students attending a Science Club, based on the application of Photonics Explorer in a methodological perspective based on the Inquiry-Based Learning, would stimulate the interest for the science and improve the conceptual domain of optics by the students of the Basic Education.

The research was implemented with a **quasi-experimental design**, (Campbell & Stanley, 1979), with a **non-equivalent control group**, applying essentially quantitative techniques, (Saha & Dworkin, 2009). The Universe of research was delimited for students of the 8th year

of Basic Education (3rd cycle) of 24 public schools in the north of Portugal. The teachers of the schools that used the kit with the students participated in a "Photonics Explorer" training course, which lasted 25 hours (1 continuous training credit), ministered at the Department of Physics and Astronomy, Faculty of Sciences of the University of Porto, on the scope of the project "Haja Luz nas Escolas", (AIL2015, 2017). The real sample consisted of 4 schools and 60 students (30 from the experimental group and 30 from the control group), belonging the Porto region, with a regular school age for 8th year (13 years), representing 16.7% and 12.5% of the total number of schools and students from the training course, respectively.

In a pre-experimental phase, the 8 modules (Lower and Upper Secondary Levels) of the Photonics Explorer, were pilot implemented in two Porto schools to obtain preliminary data that would allow adjustments to the main intervention.

After the preliminary studies, the application of the Inquiry-Based Learning methodology associated to the Photonics Explorer tool in teaching optics, occurred for the students of the experimental group at the schools taken as a sample, where the place dedicated to the activities was organized in the form of Science Club. The activities of the Photonics Explorer applied at the Basic Level (originally called "Lower Secondary Level"), presented the distribution of contents of optics by level of operational difficulty and conceptual hierarchy. The instrument used in the investigation to obtain the quantitative data and the evaluation of the conceptual learning of optics, was a test with questions of conceptual character with answers of multiple choice answers developed within this study, (Anexo 2 – teste de ótica, 8.2.2.1). In addition, the direct observations made by collaborating researchers and teachers, were used for qualitative inferences.

The results of the investigation showed that considering the observations made and the statistics for the pre and post-conceptual test, as well as the limitations of the study, there was a significant improvement of the experimental group after the use of Photonics Explorer together

with the Inquiry-Based Learning methodology, as a complement to the learning of the optics, whereas it was not so evident for the control group which was instructed only by traditional methods. It is important emphasize that the results of the experimental group were higher when compared to the control group (even though it had a positive absolute result) for the gain variable (G).

It was verified through direct observations, that the teaching and learning of optics at the Basic Level, when properly supported by an Inquiry-Based Learning instruction through the pedagogical tool Photonics Explorer kit, generates positive effects on students, conceptual learning, autonomy and development of problem solving skills, as well as the motivation to study of the optics. Due to these good results, observed during the experimental intervention, the enthusiasm of teachers and students who worked with the pedagogical tool and the methodology was perceptible.

Therefore, based on the quantitative results, observations made and the limitations highlighted for the study, it was concluded that the tool Photonics Explorer, implemented in conjunction with the Inquiry-Based Learning methodology as a complement to the conceptual teaching and learning of optics at the Basic Level, stimulates autonomy and interest in physics and science in general, significantly enhances conceptual learning, and allows the teacher to be an advisor and not just an information transmitter when compared to tradicional practices, methodologies and strategies.

Keywords: Photonics Explorer; Inquiry-Based Learning; Science Teaching; Teaching of optics; Conceptual learning; Effective learning.

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 2-1. Esquema que mostra a perspectiva construtivista, (Palacios & León, 2000). | 35 |
| Figura 2-2. Figura adaptada do livro de Novak e Gowin, onde as estratégias para aprendizagem significativa e por memorização formam um contínuo distinto, destacando que os métodos que seguem modelos de investigação científica resultam em mais aprendizagem significativa, (Novak & Gowin, 1996). | 39 |
| Figura 2-3. Learning Cycle, (ORBIT: The Open Resource Bank for Interactive Teaching, 2014). | 41 |
| Figura 2-4. Aprendizagem cooperativa na sala de aula, adaptado da obra de Lopes e Silva, (Lopes & Silva, 2009). | 48 |
| Figura 2-5. Sequência na instrução de ciências através de "Inquiry", (Artigue, Dillon, Harlen, & Léna, 2012). | 57 |
| Figura 2-6. Sequência na instrução de ciências através de "Inquiry", adaptado do livro de Wynne Harlen, (Harlen, 2015). | 58 |
| Figura 2-7. Domínio da orientação para a instrução por "Inquiry", (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 74 |
| Figura 2-8. Processo de seleção bibliográfica para o estudo de meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 75 |
| Figura 2-9. Sistema de classificação para os 37 resultados extraídos dos 22 trabalhos selecionados para a meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 76 |
| Figura 2-10. Equação de Morris para cálculo do "effect size" adaptada ao estudo de meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 77 |
| Figura 2-11. Figura onde os autores apresentaram o resultado da distribuição do "effect size" para os estudos avaliados, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 78 |
| Figura 2-12. Figura onde os autores apresentaram o resultado da distribuição do "effect size" em função do tamanho da amostra, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 78 |
| Figura 2-13. Distribuição do "effect size" em função das subcategorias definidas para os estudos analisados na meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 78 |
| Figura 2-14. Média do "effect size" em função da comparação do tipo de instrução e tabela cruzada para a média do "effect size" considerando a comparação do tipo de orientação e a classificação dos trabalhos analisados, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 79 |
| Figura 2-15. Gráfico que mostra a distribuição do "effect size" em função da comparação do tipo de orientação, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). | 79 |
| Figura 2-16. Classificação para o tipo de instrução por "inquiry" que aparecia no trabalho. | 84 |
| Figura 2-17. Resultados obtidos no estudo de meta-análise para a medida de desempenho "Learning Activities", (Lazonder & Harmsen, 2016). | 86 |
| Figura 2-18. Resultados obtidos no estudo de meta-análise para a medida de desempenho "Performance Success", (Lazonder & Harmsen, 2016). | 88 |
| Figura 2-19. Resultados obtidos no estudo de meta-análise para a medida de desempenho "Learning Outcomes", (Lazonder & Harmsen, 2016). | 89 |
| Figura 2-20. "Photonics Explorer kit", (CORDIS, 2010). | 95 |
| Figura 2-21. Estudantes realizam atividade "hands-on" com o "Photonics Explorer", (Eyest, 2017). | 97 |
| Figura 2-22. Estudantes trabalham com os filtros de cor do "Photonics Explorer", onde aprendem através de princípios de "Inquiry-Based Learning", (Eyest, 2017). | 97 |
| Figura 2-23. Localização de algumas instituições públicas e privadas que patrocinam a distribuição do "Photonics Explorer", (Eyest, 2017). | 103 |
| Figura 2-24. Localização de algumas instituições que receberam gratuitamente o "Photonics Explorer", (Eyest, 2017). | 104 |
| Figura 2-25. Imagem do teste piloto realizado, onde os próprios estudantes realizam experimentos "hands-on" com o "Photonics Explorer", (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012). | 110 |
| Figura 2-26. "Inquiry-Based Learning" comparado aos métodos centrados no professor nos países onde o "Photonics Explorer" foi inicialmente testado, (Debaes, et al., 2013). | 113 |
| Figura 3-1. Variáveis da investigação. | 120 |
| Figura 3-2. "Atomium", espaço para divulgação da ciência em Bruxelas, Bélgica. | 124 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3-3. Treinamento sobre o "Photonics Explorer". | 124 |
| Figura 3-4. Professores durante treinamento, onde realizam e discutem as experiências do "Photonics Explorer". | 124 |
| Figura 3-5. Professores apresentam experiência para os demais colegas, onde discutem e sugerem possíveis abordagens. | 124 |
| Figura 3-6. Estudo de um dos módulos do "Photonics Explorer". | 126 |
| Figura 3-7. Experiência de polarização com materiais do "kit" e outros sugeridos pelo grupo de investigação. | 126 |
| Figura 3-8. Experiência do espectro luminoso onde foi utilizado um resistor (sugerido pelo grupo de investigação) para permitir variar a intensidade luminosa da lâmpada. | 126 |
| Figura 3-9. Os estudantes são orientados por professor da FCUP. | 129 |
| Figura 3-10. Os estudantes apresentam trabalho de investigação realizado com base em experimentos do "Photonics Explorer". | 129 |
| Figura 3-11. Estudo da combinação das cores utilizando material disponível no "Photonics Explorer", (IYL2015, 2017). | 129 |
| Figura 3-12. "Kit" experimental "Photonics Explorer". | 129 |
| Figura 3-13. Professores fazem observações e tomam nota durante o treinamento. | 131 |
| Figura 3-14. Professores realizam e discutem em grupo as experiências do "Photonics Explorer". | 131 |
| Figura 3-15. Os professores participantes são orientados por um dos professores da FCUP. | 131 |
| Figura 3-16. Classificação estatística dada para as variáveis da investigação. | 151 |
| Figura 5-1. Pergunta 1: Pensa em continuar os estudos em ciências ou tecnologias após a utilização do "kit Photonics Explorer"? | 196 |
| Figura 5-2. Pergunta 2: Caso a resposta para a primeira pergunta seja SIM, qual o motivo da tua decisão? Escolha até três opções. | 197 |
| Figura 5-3. Pergunta 4: Em tua opinião e após a utilização do "kit Photonics Explorer", escolha três opções que caracterizam o trabalho dos cientistas. | 198 |
| Figura 5-4. Pergunta 5: Em tua opinião e após a utilização do "kit Photonics Explorer", quais os motivos para que um cientista faça o seu trabalho? Escolha até três opções. | 198 |
| Figura 5-5. Pergunta 6: Em tua opinião e após a utilização do "kit Photonics Explorer", além daquilo que leste, ouviste e aprendeste, acreditas que a profissão de cientista pode ser atrativa para os jovens de tua geração? | 199 |
| Figura 5-6. Pergunta 7: Em tua opinião e após a utilização do "kit Photonics Explorer", acreditas que a ciência e a tecnologia trazem... (marca com um "X" a opção que consideras adequada). | 199 |
| Figura 5-7. Pergunta 8: Em tua opinião e após a utilização do "kit Photonics Explorer", pensa nas aulas de Físico-Química. Concorda com quais afirmações? Escolha até três opções. | 200 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|-----|
| <i>Tabela 2-1. Períodos históricos para a investigação e produção teórica no ensino das ciências, adaptado de Mintzes, Wandersee e Novak, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998).</i> | 32 |
| <i>Tabela 2-2. Vantagens da aprendizagem cooperativa, (Lopes & Silva, 2009).</i> | 43 |
| <i>Tabela 2-3. Tabela com sugestões a serem seguidas pelo professor durante uma intervenção por “inquiry”, (Cantillon, Hutchinson, & Wood, 2003).</i> | 60 |
| <i>Tabela 2-4. Módulos implementados no “Photonics Explorer”.</i> | 99 |
| <i>Tabela 2-5. Tabela com os componentes do “Photonics Explorer”, (CORDIS, 2010).</i> | 105 |
| <i>Tabela 2-6. Resumo dos resultados do primeiro estudo sobre o impacto do “Photonics Explorer” no interesse dos estudantes pela Física (ótica), (Debaes, et al., 2013).</i> | 113 |
| <i>Tabela 3-1. Tabela com informações dos aspectos sequenciais e operacionais da investigação.</i> | 118 |
| <i>Tabela 3-2. Organização dos módulos do “Photonics Explorer” utilizados na investigação.</i> | 136 |
| <i>Tabela 3-3. Resumo das atividades desenvolvidas em cada um dos módulos abordados durante a investigação.</i> | 141 |
| <i>Tabela 3-4. Categorização das questões do teste de ótica utilizado como ferramenta de avaliação quantitativa.</i> | 145 |
| <i>Tabela 3-5. Alpha de Cronbach calculado para o teste final.</i> | 146 |
| <i>Tabela 3-6. Procedimentos para recolha dos dados organizados em fases.</i> | 148 |
| <i>Tabela 3-7. Tabela adaptada da obra de Tuckman com orientação para a escolha de método estatístico para tratamento dos dados, (Tuckman, 2012).</i> | 152 |
| <i>Tabela 4-1. Resultados retornados pelo SPSS para o nível de significância nos testes de normalidade.</i> | 168 |
| <i>Tabela 4-2. Estatísticas retornadas pelo SPSS nos testes de normalidade e resultados da comparação com as tabelas Quantis.</i> | 169 |
| <i>Tabela 4-3. Valores da simetria e achatamento para as distribuições das variáveis métricas em função do tipo de tratamento.</i> | 171 |
| <i>Tabela 4-4. Tabela com resumo dos resultados quantitativos obtidos na investigação.</i> | 184 |
| <i>Tabela 8-1. Tabela de frequências em função do fator tratamento aplicado na investigação.</i> | 306 |
| <i>Tabela 8-2. Estatísticas descritivas para o número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.</i> | 306 |
| <i>Tabela 8-3. Estimadores M para o número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.</i> | 307 |
| <i>Tabela 8-4. Estatísticas descritivas para o número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.</i> | 308 |
| <i>Tabela 8-5. Estimadores M para o número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.</i> | 309 |
| <i>Tabela 8-6. Estatísticas descritivas para o ganho considerando o fator tratamento.</i> | 310 |
| <i>Tabela 8-7. Estimadores M para o ganho considerando o fator tratamento.</i> | 311 |
| <i>Tabela 8-8. Frequências para o ganho considerando o fator experimental.</i> | 311 |
| <i>Tabela 8-9. Frequências para o ganho considerando o fator controle.</i> | 312 |
| <i>Tabela 8-10. Testes de normalidade para as distribuições do número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.</i> | 313 |
| <i>Tabela 8-11. Testes de normalidade para as distribuições do número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.</i> | 317 |
| <i>Tabela 8-12. Testes de normalidade para as distribuições do ganho considerando o fator tratamento.</i> | 321 |
| <i>Tabela 8-13. Estatísticas descritivas para o ganho do grupo experimental sem “outlier”.</i> | 325 |
| <i>Tabela 8-14. Coeficiente de correlação R de Pearson para o grupo experimental.</i> | 326 |
| <i>Tabela 8-15. Coeficiente de correlação R de Pearson para o grupo controle.</i> | 327 |
| <i>Tabela 8-16. Teste t para amostras emparelhadas para o grupo controle considerando as variáveis n° de acertos no pré e pós teste.</i> | 327 |
| <i>Tabela 8-17. Teste t para amostras independentes considerando a pontuação no pré e pós-teste para o grupo experimental.</i> | 328 |
| <i>Tabela 8-18. Teste de Levene e Teste t para amostras independentes considerando o número de acertos no pré-teste e o fator tratamento.</i> | 329 |
| <i>Tabela 8-19. Teste de Levene e Teste t para amostras independentes considerando o ganho e o fator tratamento.</i> | 330 |

| | |
|--|-----|
| <i>Tabela 8-20. Tabela Quantis da estatística de Kolmogorov-Smirnov.</i> | 331 |
| <i>Tabela 8-21. Tabela Quantis da estatística de Shapiro-Wilk.</i> | 331 |
| <i>Tabela 8-22. Tabela das distribuições t ou normal (Tabela das distribuições t ou normal, 2017).</i> | 333 |
| <i>Tabela 8-23. Potência do teste t para $m_A = m_B$ e $\alpha = 0,05$ (Cohen, 2013).</i> | 334 |

Índice de Gráficos

| | |
|--|-----|
| Gráfico 5-1. Avaliação dos professores participantes sobre o programa do “workshop” sobre o “Photonics Explorer” e o “Inquiry-Based Learning” realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. | 202 |
| Gráfico 5-2. Avaliação dos professores participantes sobre a apresentação e os trabalhos práticos realizados no “workshop” sobre o “Photonics Explorer” e o “Inquiry-Based Learning” realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. | 202 |
| Gráfico 5-3. Opinião geral dos professores participantes sobre o “workshop” que tratou do “Photonics Explorer” e do “Inquiry-Based Learning” realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. | 203 |
| Gráfico 5-4. Opinião geral dos professores sobre a ferramenta pedagógica “Photonics Explorer” e a metodologia “Inquiry-Based Learning” após o “workshop” realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. | 203 |
| Gráfico 8-1. Frequências do número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento. | 308 |
| Gráfico 8-2. Frequências do número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento. | 310 |
| Gráfico 8-3. Distribuição do número de acertos no pré-teste para o grupo experimental com a curva normal sobreposta. | 313 |
| Gráfico 8-4. Distribuição do número de acertos no pré-teste para o grupo controle com a curva normal sobreposta. | 314 |
| Gráfico 8-5. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento experimental. | 314 |
| Gráfico 8-6. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento controle. | 315 |
| Gráfico 8-7. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento experimental. | 315 |
| Gráfico 8-8. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento controle. | 316 |
| Gráfico 8-9. Caixas de bigodes para o número de acertos no pré-teste em função do fator tratamento. | 316 |
| Gráfico 8-10. Gráfico de perfil para os grupos controle e experimental considerando as médias para o número de acertos no pré-teste. | 317 |
| Gráfico 8-11. Distribuição do número de acertos no pós-teste para o grupo experimental com a curva normal sobreposta. | 318 |
| Gráfico 8-12. Distribuição do número de acertos no pós-teste para o grupo controle com a curva normal sobreposta. | 318 |
| Gráfico 8-13. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento experimental. | 319 |
| Gráfico 8-14. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento controle. | 319 |
| Gráfico 8-15. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento experimental. | 320 |
| Gráfico 8-16. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento controle. | 320 |
| Gráfico 8-17. Caixas de bigodes para o número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento. | 321 |
| Gráfico 8-18. Distribuição do ganho para o grupo experimental com a curva normal sobreposta. | 322 |
| Gráfico 8-19. Distribuição do ganho para o grupo controle com a curva normal sobreposta. | 322 |
| Gráfico 8-20. Gráfico Q-Q Normal para o ganho considerando o tratamento experimental. | 323 |
| Gráfico 8-21. Gráfico Q-Q Normal para o ganho considerando o tratamento controle. | 323 |
| Gráfico 8-22. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o ganho considerando o tratamento experimental. | 324 |
| Gráfico 8-23. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o ganho considerando o tratamento controle. | 324 |
| Gráfico 8-24. Caixas de bigodes para o ganho considerando o fator tratamento. | 325 |

| | |
|---|------------|
| <i>Gráfico 8-25. Gráfico de perfil para os grupos controle e experimental considerando as médias para o ganho.</i> | <u>326</u> |
| <i>Gráfico 8-26. Diagrama de dispersão entre as variáveis n° de acertos no pré e pós-teste para o grupo controle.</i> | <u>327</u> |
| <i>Gráfico 8-27. Gráfico de perfil para o grupo experimental considerando as médias para o pré e pós-teste.</i> | <u>328</u> |
| <i>Gráfico 8-28. Caixas de bigodes para o pré e pós-teste considerando o grupo experimental.</i> | <u>329</u> |

Sumário

| | | |
|----------|---|------------|
| 1 | Introdução | 22 |
| 1.1 | Contextualização do problema | 22 |
| 1.2 | Definição do problema | 23 |
| 1.3 | Hipóteses da investigação | 25 |
| 1.4 | Fundamentação para as hipóteses formuladas e realização da investigação | 26 |
| 1.5 | Organização da tese | 28 |
| 2 | Referencial teórico | 31 |
| 2.1 | Métodos e estratégias para o ensino das ciências – algumas considerações teóricas | 31 |
| 2.1.1 | Períodos históricos no ensino das ciências | 31 |
| 2.1.2 | O construtivismo no ensino das ciências | 34 |
| 2.1.3 | Estratégias para o ensino das ciências | 38 |
| 2.1.4 | A estratégia cooperativa no ensino das ciências | 42 |
| 2.2 | Ensino das ciências – instrução por “ <i>Inquiry</i> ” | 48 |
| 2.2.1 | O que é o “ <i>Inquiry-Based Learning</i> ”? | 49 |
| 2.2.2 | O “ <i>Inquiry-Based Learning</i> ” no ensino e aprendizagem das ciências | 51 |
| 2.2.2.1 | Abordagens e estruturas do “ <i>Inquiry</i> ” no ensino e aprendizagem das ciências | 54 |
| 2.2.2.2 | O professor e a organização da intervenção por “ <i>Inquiry</i> ” | 58 |
| 2.2.2.3 | Vantagens da instrução por “ <i>Inquiry</i> ” | 62 |
| 2.2.2.4 | Dificuldades para implementação do “ <i>Inquiry</i> ” | 67 |
| 2.3 | Ensino das ciências, “ <i>Inquiry</i> ” vs ensino tradicional – estudos de meta-análise | 70 |
| 2.3.1 | O estudo de meta-análise de Furtak, Seidel, Iverson e Briggs | 71 |
| 2.3.1.1 | Método utilizado no estudo | 74 |
| 2.3.1.2 | Resultados do estudo de meta-análise | 77 |
| 2.3.1.3 | Discussão dos resultados da meta-análise | 79 |
| 2.3.1.4 | Conclusões do estudo de meta-análise | 80 |
| 2.3.2 | O estudo de meta-análise de Lazonder e Harmsen | 81 |
| 2.3.2.1 | Método utilizado no estudo | 81 |
| 2.3.2.2 | Resultados do estudo de meta-análise | 86 |
| 2.3.2.3 | Discussão dos resultados da meta-análise | 90 |
| 2.3.2.4 | Conclusões do estudo de meta-análise | 93 |
| 2.4 | “ <i>Photonics Explorer</i> ” | 94 |
| 2.4.1 | Desenvolvimento e composição do “ <i>Photonics Explorer</i> ” | 94 |
| 2.4.2 | Testes com o “ <i>Photonics Explorer</i> ” | 110 |
| 3 | Metodologia | 117 |
| 3.1 | Delineamento da investigação | 117 |
| 3.1.1 | Classificação da investigação | 117 |
| 3.1.2 | Variáveis da investigação | 120 |
| 3.2 | Sujeitos da investigação - amostra | 121 |
| 3.3 | Atividades e elementos componentes da variável independente | 123 |
| 3.3.1 | Treinamento sobre o “ <i>Photonics Explorer</i> ” – Bruxelas | 123 |
| 3.3.2 | Execução das experiências do “ <i>Photonics Explorer</i> ” em laboratório da FCUP | 125 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 3.3.3 | Colaboração com a Fábrica das Ciências e a rede Ciência Viva | 127 |
| 3.3.4 | "Photonics Explorer" – intervenção piloto | 127 |
| 3.3.5 | Treinamento "Photonics Explorer" – professores colaboradores | 130 |
| 3.3.6 | Grupo controle | 132 |
| 3.3.7 | Grupo experimental | 133 |
| 3.3.8 | Intervenção experimental – etapas e procedimentos | 134 |
| 3.4 | Atividades e elementos componentes da variável dependente | 144 |
| 3.4.1 | Instrumento de avaliação quantitativa – teste de ótica | 144 |
| 3.4.2 | Procedimentos para recolha dos dados principais | 147 |
| 3.4.3 | Análise dos dados obtidos | 150 |
| 3.4.3.1 | Testes de normalidade, simetria e achatamento para as distribuições das variáveis métricas | 153 |
| 3.4.3.2 | Testes t para análise do mesmo grupo de tratamento em momentos distintos | 156 |
| 3.4.3.2.1 | Análise interna do grupo experimental | 157 |
| 3.4.3.2.2 | Análise interna do grupo controle | 160 |
| 3.4.3.3 | Testes t para amostras independentes – comparação entre os dois grupos de tratamento | 161 |
| 3.4.3.3.1 | Teste t – pré-teste | 163 |
| 3.4.3.3.2 | Teste t – ganho (G) | 165 |
| 4 | Resultados | 167 |
| 4.1 | Testes de normalidade, simetria e achatamento | 167 |
| 4.1.1 | Testes de normalidade, simetria e achatamento para as distribuições das variáveis métricas em função do fator tratamento | 168 |
| 4.2 | Testes t de Student | 172 |
| 4.2.1 | Testes t para análise do mesmo grupo de tratamento em momentos distintos | 172 |
| 4.2.1.1 | Teste t para amostras independentes para o grupo experimental | 174 |
| 4.2.1.2 | Teste t para amostras emparelhadas para o grupo controle | 177 |
| 4.2.2 | Testes t para amostras independentes | 179 |
| 4.2.2.1 | Testes t – pré-teste | 179 |
| 4.2.2.2 | Teste t - ganho | 181 |
| 4.3 | Tabela com resumo dos resultados quantitativos obtidos na investigação | 184 |
| 5 | Discussão dos resultados | 188 |
| 5.1 | Resumo das conclusões para as hipóteses da investigação | 188 |
| 5.2 | Discussão sobre a interpretação geral dos resultados da investigação | 189 |
| 5.3 | Discussão considerando a integração dos resultados da investigação com outros estudos encontrados na literatura | 200 |
| 5.3.1 | Estudos sobre a aplicação do "Photonics Explorer" apoiado pela metodologia "Inquiry-Based Learning" | 200 |
| 5.3.2 | Estudos sobre a aplicação do "Inquiry-Based Learning" como metodologia para o ensino e aprendizagem das ciências | 205 |
| 5.3.2.1 | O estudo de meta-análise de Furtak, Seidel, Iverson e Briggs | 205 |
| 5.3.2.2 | O estudo de meta-análise de Lazonder e Harmsen | 209 |
| 5.4 | Resumo da contribuição dos resultados para a literatura | 212 |
| 5.5 | Sugestões quanto à aplicação | 213 |
| 5.6 | Limitações da investigação e sugestões para trabalhos futuros | 214 |
| 5.6.1 | Limitações quanto a validade interna | 214 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.6.1.1 | Tamanho da amostra | 214 |
| 5.6.1.2 | Conveniência da amostra do grupo experimental | 216 |
| 5.6.1.3 | A função de participação dos docentes colaboradores | 217 |
| 5.6.1.4 | A configuração do teste aplicado | 219 |
| 5.6.2 | Limitações quanto a validade externa | 221 |
| 5.6.3 | Sugestões para estudos futuros com novos cenários e variáveis metodológicas | 223 |
| 6 | Conclusões | 225 |
| 7 | Bibliografia | 227 |
| 8 | Anexos | 235 |
| 8.1 | Anexo 1 – materiais de apoio do “Photonics Explorer” | 235 |
| 8.1.1 | Fichas de informação | 235 |
| 8.1.1.1 | Sinais luminosos | 235 |
| 8.1.1.2 | Cores | 237 |
| 8.1.1.3 | Lentes e telescópios | 239 |
| 8.1.1.4 | Olho e visão | 240 |
| 8.1.2 | Notas para o professor | 241 |
| 8.1.2.1 | Sinais luminosos | 241 |
| 8.1.2.2 | Cores | 254 |
| 8.1.2.3 | Lentes e telescópios | 265 |
| 8.1.2.4 | Olho e visão | 271 |
| 8.1.3 | Ficha de trabalho (atividades) | 278 |
| 8.1.3.1 | Sinais luminosos | 278 |
| 8.1.3.2 | Cores | 283 |
| 8.1.3.3 | Lentes e telescópios | 289 |
| 8.1.3.4 | Olho e visão | 291 |
| 8.1.4 | Dicas para os professores | 294 |
| 8.2 | Anexo 2 – teste de ótica | 298 |
| 8.2.1 | Informação de apoio ao teste | 298 |
| 8.2.2 | Teste de ótica | 299 |
| 8.2.2.1 | Exemplo de respostas dadas pelos estudantes | 305 |
| 8.3 | Anexo 3 – resultados estatísticos | 306 |
| 8.3.1 | Estatísticas descritivas | 306 |
| 8.3.1.1 | Pré-teste | 306 |
| 8.3.1.2 | Pós-teste | 308 |
| 8.3.1.3 | Ganho | 310 |
| 8.3.2 | Testes de normalidade e simetria | 313 |
| 8.3.2.1 | Testes de normalidade e simetria para o pré-teste | 313 |
| 8.3.2.2 | Testes de normalidade e simetria para o pós-teste | 317 |
| 8.3.2.3 | Testes de normalidade e simetria para o ganho (G) | 321 |
| 8.3.3 | Testes t de Student | 326 |
| 8.3.3.1 | Testes de correlação e testes t para comparação interna das médias do pré e pós-teste | 326 |
| 8.3.3.2 | Testes t para comparação entre os dois grupos de tratamento | 329 |
| 8.3.3.2.1 | Testes t para comparação das médias do pré-teste | 329 |
| 8.3.3.2.2 | Testes t para comparação das médias do ganho (G) | 330 |
| 8.4 | Anexo 4 – tabelas estatísticas | 331 |
| 8.5 | Anexo 5 – questionário respondido pelos professores durante a formação “Photonics Explorer” | 335 |

1 Introdução

Atualmente, com base nas necessidades de sociedades mais informadas e exigentes, as principais economias mundiais produzem e consomem cada vez mais tecnologias baseadas em avanços nos vários campos da ciência. Porém, a ciência e as tecnologias derivadas desta são construções humanas, onde o processo de compreensão da natureza assim como a manipulação e aplicação deste conhecimento, inicia-se na mente. Este, tem a sua importância ainda na escola básica, onde se começa o caminho de descoberta da ciência e moldam-se os argumentos para as escolhas de futuro. Deste modo, a escola e o ensino das ciências têm um papel fundamental na formação dos cidadãos, cientistas e engenheiros do futuro e, conseqüentemente, no ritmo com que a humanidade caminha rumo aos avanços científicos e tecnológicos. Pensando nisso, vários países, e em particular do espaço europeu, têm repensado suas práticas quanto ao ensino de ciências nas escolas. Investimentos em materiais instrucionais, formação de professores, e melhorias na estrutura física das escolas entre outros, têm sido feitos para estimular um maior número de estudantes a seguir carreiras em ciências ou pelo menos compreender de forma significativa a importância que esta tem para si próprios como cidadãos e para a humanidade como um todo.

1.1 Contextualização do problema

Diversas estratégias e ferramentas para o ensino e aprendizagem das ciências têm, assim, sido desenvolvidas ao longo dos anos com o intuito de obter resultados eficazes quanto à aprendizagem nos diferentes níveis de ensino. Estas têm sido testadas utilizando-se as mais variadas metodologias de investigação com o propósito de aferir ou prever como podem influenciar a realidade educacional, (Redish, 2012).

A investigação a que se refere este trabalho trata da utilização da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” apoiada pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, aplicados ao ensino da ótica no Nível Básico de Portugal de forma extracurricular, complementar ao ensino tradicional para alunos voluntários a frequentar um Clube de Ciências. O “*Photonics Explorer*” foi concebido no âmbito do projeto “EXPEKT” em março de 2010 através de financiamento da Comissão Europeia no valor de 550 mil Euros. A ferramenta pedagógica tem como objetivo permitir aos jovens estudantes do Ensino Básico e Secundário aprenderem ótica básica de forma significativa utilizando de forma direta e ativa o método científico, além de encorajá-los a seguir carreiras em áreas de ciências e engenharias, (Eyest, 2017).

O “*Photonics Explorer*” mostra-se promissor e oferece muitas possibilidades de aplicação prática, as quais precisam ser testadas a nível de eficácia para o ensino e aprendizagem da ótica básica, principalmente quando se trata da aprendizagem conceitual. Deste modo, esta investigação implementada em Portugal servirá de referencial, não só teórico, mas também prático, para outros sistemas escolares de outros países da União Europeia e de outros continentes que pretendam conhecer e utilizar a ferramenta no ensino da ótica e motivar os estudantes para estudar ciências. A investigação permite também confirmar que vale a pena que empresas, escolas, centros de divulgação e ensino das ciências ou governos, invistam na sua aquisição como ferramenta útil para o ensino da ótica e que fornece aos estudantes uma visão concreta sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade atual.

1.2 Definição do problema

Apesar dos investimentos feitos pelos governos, os professores de Física continuam a sentir que os estudantes têm dificuldades na compreensão de conceitos básicos, assim como na

sua respectiva aplicação à resolução de problemas do cotidiano, (Committee on Undergraduate Science Education & National Research Council, 1997), (Harlen, 2015). Na ótica, por exemplo, na maioria das vezes é complicado para um jovem saber escolher um tipo de lâmpada, entre aquelas disponíveis no mercado, para ser utilizada em um determinado ambiente, levando-se em consideração conhecimentos da Física, como, intensidade luminosa, potência, espectro luminoso, etc. Com base nesta realidade e na consideração da necessidade de comprovação prática de estratégias e ferramentas evidenciadas atualmente no ensino da Física, delimitou-se como problema a ser abordado nesta investigação, a seguinte questão:

Sendo a ótica uma área simultaneamente motivadora e também de difícil de conceptualização para alunos de Física, em que medida uma abordagem complementar extracurricular, para alunos voluntários em Clube de Ciências, baseada na aplicação da ferramenta “*Photonics Explorer*” e apoiada pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, pode melhorar o domínio conceptual da ótica conseguido pelos alunos do Ensino Básico durante o ensino tradicional em sala de aula?

Com base nesta questão principal se consideraram os seguintes problemas específicos a serem tratados nesta investigação:

- **Qual a eficácia da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” implementada através da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” para alunos voluntários a frequentar um Clube de Ciência como complemento do ensino tradicional em sala de aula, no ensino e aprendizagem de conceitos de ótica?**

- **Que implicações nas atitudes dos professores e estudantes podem ser esperadas após realizarem as atividades práticas do “*Photonics Explorer*”?**

1.3 Hipóteses da investigação

Neste estudo, foi tida em consideração a seguinte hipótese orientadora da investigação:

- **Hipótese geral** - Os estudantes de escolas públicas do Ensino Básico de Portugal que tenham tido um ensino baseado em metodologias e ferramentas ditas “tradicionais”, quando submetidos de forma complementar (extracurricular) a uma instrução do tipo “*Inquiry-Based Learning*” apoiada pela ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*”, apresentam melhores resultados quantitativos na aprendizagem da ótica, nomeadamente no domínio conceitual e no desenvolvimento de competências para a resolução de problemas, quando comparados aos estudantes que tiveram apenas o ensino tradicional.

As hipóteses específicas investigadas foram:

- **Hipótese 1** - A implementação do “*Photonics Explorer*” com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como complemento ao ensino tradicional da ótica na forma extracurricular de Clube de Ciências para alunos voluntários, resultará em aprendizagem conceitual estatisticamente significativa, medida através da performance absoluta dos alunos.
- **Hipótese 2** - A medida do Ganho, relativamente à aprendizagem conceitual de ótica, medido através de um teste conceitual construído para efeito, será maior no grupo experimental do que no grupo controle, sendo a medida para os dois grupos estatisticamente diferente.

- **Hipótese 3** - Os alunos voluntários participantes nas atividades extracurriculares de um Clube de Ciências, no qual, em simultâneo com a aprendizagem tradicional em sala de aula, se usou o “*Photonics Explorer*” demonstram grande motivação e entusiasmo com os trabalhos experimentais nos moldes da metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, sendo observado, no caso específico dos estudantes, atitudes de aprendizagem mais autônomas.

1.4 Fundamentação para as hipóteses formuladas e realização da investigação

Obviamente não se pode atribuir os bons resultados da aprendizagem em Física, ou em ciências de modo geral, apenas a métodos de ensino, estratégias ou ferramentas utilizadas pelos professores. Aqueles dependem de inúmeras variáveis que possuem aspectos sociais, éticos, culturais, estruturais, políticos e científicos. Porém, as metodologias e ferramentas empregues podem ser, de certo modo, reflexos destas variáveis. Por isso, nos dias atuais se estimula cada vez mais o uso de tecnologias da informação e comunicação na educação, principalmente para a instrução, fator compreensível se considerarmos que a eletrônica e a computação são cada vez mais indispensáveis na vida cotidiana, (Bebell, Russell, & O'Dwyer, 2004).

Assim, métodos, estratégias e ferramentas de ensino estão entre as diversas variáveis que mais podem influenciar diretamente os resultados da aprendizagem. Considerando-se esta perspectiva, a escolha, combinação e aplicação de métodos/ferramentas inovadoras e flexíveis, dentro de um determinado contexto educacional, pode garantir melhores resultados de aprendizagem e desenvolvimento de habilidades quando comparado à utilização isolada de métodos de ensino ditos tradicionais que se caracterizam por alguma apatia metodológica.

Para que a viabilidade de aplicação de determinados instrumentos, no que respeita à obtenção de resultados eficazes de aprendizagem, seja verificada, é necessária a implementação de investigações que sustentem e defendam determinadas intervenções. Estes estudos devem ser conduzidos em diferentes espaços e sob diferentes perspectivas, sendo posteriormente agregados para se criar uma base consistente que garanta ou defenda a sua validade teórica e prática.

O que se pretende com este estudo é dar mais um passo neste sentido, aplicando a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” e a ferramenta experimental “*Photonics Explorer*” como combinação de metodologia/ferramenta de apoio complementar no ensino de ótica. Tanto a metodologia como a ferramenta são inovadoras no contexto educativo português, no sentido de permitirem a participação direta e ativa dos alunos na construção do conhecimento, assim como na transformação destes em aprendizagem significativa e eficaz, para que as possam usar, por exemplo, para resolver problemas práticos do seu meio ou no seu dia-a-dia.

Esta investigação deve ser considerada como mais um contributo para a literatura em ensino das ciências, pois apesar desta metodologia e ferramenta estarem sendo utilizadas em outros países da Europa e de outros continentes (principalmente a metodologia), não se encontram nas fontes bibliográficas um número significativo de estudos que mostram os resultados da sua combinação e aplicação no ensino da ótica.

Observa-se ainda, que outras investigações podem ser influenciadas a partir desta aqui relatada, por exemplo, utilizando outras metodologias de investigação e de aferição de resultados ou considerando outros cenários educacionais. De qualquer forma, esta investigação

contribui como mais um avanço no campo do ensino e aprendizagem da Física, em particular da ótica, e no entendimento das práticas instrucionais em ciências.

1.5 Organização da tese

Com o propósito de relatar a investigação implementada no âmbito do Doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, esta tese foi organizada em oito partes principais:

- 1. Introdução** – Nesta primeira parte é feita a contextualização do problema seguida pela sua apresentação na forma de um problema geral e problemas específicos. Em seguida são apresentadas em subseções separadas as hipóteses iniciais para o problema investigado, a fundamentação para as hipóteses formuladas e a realização da investigação. A primeira parte é então encerrada com a descrição da organização das informações fundamentais da investigação.
- 2. Referencial teórico** – Nesta parte é apresentado o suporte teórico utilizado na investigação e elaboração da tese. Sendo que, a primeira das subseções principais traz considerações da literatura sobre métodos e estratégias para o ensino das ciências. A segunda subseção principal trata da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” no ensino das ciências. A terceira traz informações importantes a partir de dois estudos atuais de meta-análise sobre investigações práticas que comparam a metodologia de “*Inquiry*” com os métodos tradicionais no ensino das ciências. Para finalizar esta parte que traz o referencial teórico, a última subseção trata da ferramenta “*Photonics Explorer*” e das poucas informações encontradas sobre a sua aplicação no ensino da ótica.

- 3. Metodologia** – Nesta terceira parte são descritos os métodos e procedimentos seguidos em cada fase de desenvolvimento da investigação. A primeira subseção principal trata do “*design*” metodológico definido para a realização do estudo. A segunda trata das características amostrais e sujeitos participantes da investigação. A terceira apresenta as ações realizadas durante a intervenção, desde o treinamento inicial dos investigadores em Bruxelas, até a intervenção experimental propriamente dita. A quarta e última subseção principal trata do instrumento de avaliação utilizado na investigação, assim como dos procedimentos para recolha dos dados e seu respectivo tratamento estatístico.
- 4. Resultados** – Nesta parte são apresentadas três subseções principais que apresentam os resultados dos testes estatísticos realizados a partir dos dados obtidos. A última subseção traz um resumo qualitativo para fácil compreensão dos resultados estatísticos.
- 5. Discussão dos resultados** – Nesta quinta parte são discutidos os aspectos teóricos e práticos que no entendimento dos investigadores explicam os resultados obtidos. Esta parte do trabalho é composta por seis subseções principais: a primeira traz um resumo das conclusões relacionadas a cada uma das hipóteses iniciais, na segunda apresenta-se a discussão sobre a interpretação geral dos resultados obtidos, a terceira relaciona os resultados obtidos com outros estudos encontrados na literatura, a quarta apresenta as contribuições dos resultados obtidos para a literatura, a quinta traz sugestões quanto a aplicação do “*Photonics Explorer*” e do “*Inquiry-Based Learning*” no ensino da ótica, enquanto a sexta e última subseção principal trata das limitações que os investigadores atribuem ao trabalho de investigação, assim como sugestões para trabalhos futuros.
- 6. Conclusão** – Aqui são apresentadas as conclusões da investigação.

7. **Bibliografia** – Nesta parte da tese podem ser consultadas as referências bibliográficas utilizadas como base teórica para a investigação e produção do texto final.
8. **Anexos** – A oitava parte consideramos tão importante quanto as demais, porque nos anexos encontram-se informações essenciais para a compreensão do capítulo que trata da metodologia, resultados e discussão dos resultados. Este capítulo será constantemente consultado caso se queira conhecer de forma mais aprofundada os resultados estatísticos e as ferramentas utilizadas para a obtenção dos dados e sua análise.

2 Referencial teórico

2.1 Métodos e estratégias para o ensino das ciências – algumas considerações teóricas

Para uma melhor compreensão dos aspectos teóricos e práticos do “*Inquiry-Based Learning*”, estratégia de ensino sob a qual foi desenhada a ferramenta “*Photonics Explorer kit*” para o ensino da ótica, e que juntamente com a ferramenta foi tema desta investigação, serão feitas algumas considerações teóricas apresentadas nesta seção.

A primeira parte informa sobre os momentos históricos no desenvolvimento da produção teórica e investigação na área de ensino de ciências. A segunda parte trata de algumas características importantes da teoria construtivista, sob a qual baseia-se a instrução por “*Inquiry*”. A terceira parte traz informações sobre algumas estratégias no ensino de ciências. Já a quarta e última parte, discorre sobre características da estratégia de aprendizagem cooperativa, a qual é considerada parte fundamental na instrução por “*Inquiry-Based Learning*” no ensino das ciências.

2.1.1 Períodos históricos no ensino das ciências

Depois da primeira guerra mundial a investigação e produção teórica no ensino das ciências teve um significativo impulso nos Estados Unidos da América, levando, por exemplo à criação do NARST (*National Association for Research in Science Teaching*), (NARST, 2017). Para Mintzes, Wandersee e Novak os avanços teóricos e práticos no ensino das ciências podem ser divididos em três períodos históricos, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998):

Tabela 2-1. Períodos históricos para a investigação e produção teórica no ensino das ciências, adaptado de Mintzes, Wandersee e Novak, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998).

| ERA – PERÍODO | ASSUNTO | EPISTEMOLOGIA |
|--|---|--------------------------------|
| Practicalista – entre a publicação do “ <i>Cardinal principles of secondary education</i> ” em (1918) e o lançamento do Sputnik (1957), (National Education Association, 1918). | <ul style="list-style-type: none"> • Utilidade • Eficiência • Gestão • Vocação/trabalho • Adaptação de vida • Cidadania | Racionalista/utilitária |
| Academista – das reformas pós-Sputnik em 1958 até à revolução epistemológica no final dos anos 70. | <ul style="list-style-type: none"> • Estrutura disciplinar • Inquérito científico • Desenvolvimento humano • Mudança comportamental | Empirista/behaviorista |
| Construtivismo Humano – desde a publicação do livro “ <i>Educational Psychology: A Cognitive View</i> ” em 1978 até o presente, (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978). | <ul style="list-style-type: none"> • Criação de significado • Compreensão • Mudança conceitual • Estrutura do conhecimento • Qualidade | Pós-positivista/construtivista |

O **período practicalista** caracterizou o chamado movimento da Educação Progressiva nos Estados Unidos, onde a preocupação central era de cunho prático por conta da necessidade de socialização dos imigrantes para integrarem-se como mão-de-obra especializada, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998). Os autores ainda observam:

“...grande parte da investigação feita durante este período centrava-se em avaliar e testar os alunos, e em vigiar o horizonte educacional. A preocupação não era tanto criar e avaliar estratégias inovadoras de ensino, mas avaliar o status quo e encontrar posições úteis para grupos diversos de pessoas. O esforço foi muito vantajoso, em perspectiva, e realçou as variáveis associadas com a eficiência, gestão de tempo, adaptação às condições existentes no local de trabalho e desenvolvimento das atitudes científicas”, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998, p. 69).

Mintzes, Wandersee e Joseph D. Novak destacam entre os acontecimentos mais importantes do **período academista** nos EUA para avanço na investigação e bases teóricas no ensino das ciências, através principalmente dos financiamentos da “*National Science Foundation*”, a expansão dos programas de pós-graduação, criação de centros de investigação especializada nas universidades (por exemplo, Cornell, Harvard, Berkeley, etc.), além da fundação em 1963 do “*Journal of Research in Science Teaching*” para a publicação de investigações em ensino de ciências, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998). Neste período, nos Estados Unidos havia intensas exigências por reformas curriculares e inovação instrucional, porém, como bem observam os autores:

“...refletiam o empenho nacional em “apanhar” os avanços soviéticos nas áreas militares, tecnológicas e científicas”, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998, p. 71).

Ou seja, no período academista eram importes apenas os resultados finais de aprendizagem na “lógica do certo e errado”, medidos principalmente por métodos estatísticos complexos utilizados por outras áreas como ciências agrícolas, psicologia e ciências sociais, mas sem a preocupação do processo de aprendizagem como um todo. Não se discutia, de modo geral, o quão significativo eram os resultados cognitivamente, o importante era a aparência de qualidade com base em resultados experimentais positivos.

A transição para o **período construtivista** ocorreu de forma gradual, onde a grande questão para os teóricos eram o fato de que mesmo com as melhores técnicas disponíveis, os

estudantes não conseguiam aprender ciências de forma significativa. Para Mintzes, Wandersee e Novak os novos esforços estavam concentrados em expandir as práticas da sala de aula baseando-se mais numa visão cognitiva da aprendizagem, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998).

Com o início do período construtivista a preocupação deixa de ser com os resultados de aprendizagem baseados na “lógica do certo e errado”, analisados apenas no final da instrução com técnicas estatísticas complexas, passando-se a ter como tema central a aprendizagem significativa, abordada através de temas como as interações na sala de aula, comparação dos métodos de ensino, desenvolvimento cognitivo, diferenças entre gênero, estratégias cognitivas de intervenção, etc.

2.1.2 O construtivismo no ensino das ciências

Atualmente, pode se dizer que o construtivismo domina a agenda das investigações em ensino de ciências, onde as diversas faces da teoria são testadas sob diferentes perspectivas e com abrangência em diferentes áreas do conhecimento científico. Dependendo dos objetivos, as perspectivas do construtivismo podem abranger princípios filosóficos, psicológicos, epistemológicos e pedagógicos. Na essência construtivista o estudante deve ter um papel ativo na aprendizagem. A figura a seguir resume os princípios do construtivismo, (Palacios & León, 2000), (Machado, 2012):

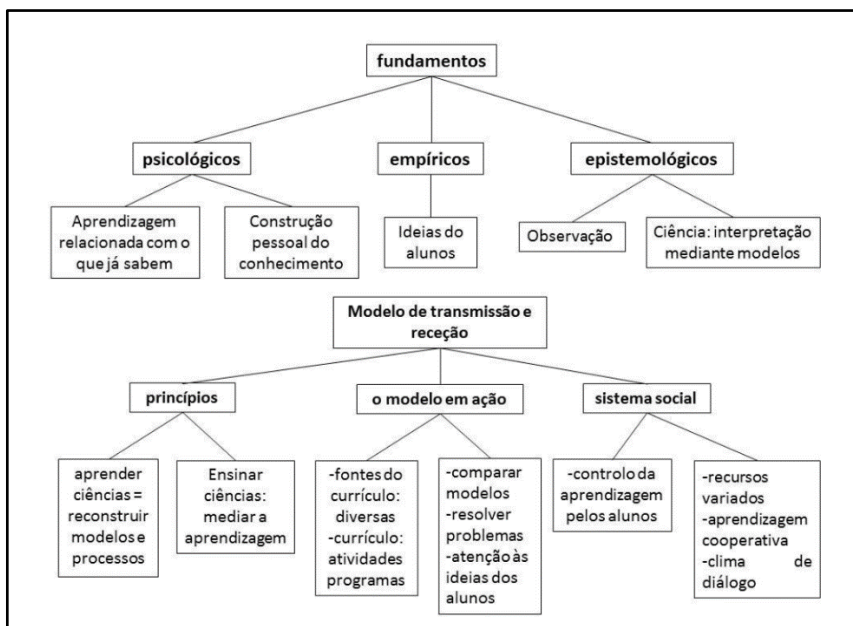


Figura 2-1. Esquema que mostra a perspectiva construtivista, (Palacios & León, 2000).

Apesar das diferentes vertentes do construtivismo, existem características em comum entre elas, que segundo Ogborn são, (Ogborn, 1997):

- A importância da aprendizagem ativa do estudante;
- O respeito pelas ideias prévias do estudante;
- O entendimento de que a ciência é uma criação humana;
- A ideia de proporcionar uma instrução que considere melhorar aquilo que os estudantes já sabem, trabalhando também nas dificuldades para compreender os conceitos científicos em função da sua visão de mundo.

Nomes como Jean Piaget (epistemologia genética), Lev Vygotsky (enfoque histórico-cultural) e David Ausubel (aprendizagem significativa), estão entre os mais importantes para compreender as divisões teóricas do construtivismo e os rumos que tomaram.

Segundo Nogueira, apesar da longa produção de Jean Piaget, apenas os trabalhos que produziu durante os seus últimos 10 ou 15 anos de vida formaram a base do construtivismo psicológico, onde o eixo central da sua teoria foi o desenvolvimento mental, focado na interação entre o indivíduo e o meio em que está inserido. A autora ainda observa que a teoria produzida por Vygotsky (mais considerada atualmente pelos investigadores) diferia do que foi produzido por Piaget, pois para este os conceitos científicos deveriam ser estruturados através da instrução em sala de aula tornando as abstrações formais e definindo os conceitos de forma mais lógica do que aqueles construídos de forma espontânea, (Nogueira, 2014).

Já para Ausubel, o principal fator na aprendizagem humana é o conhecimento prévio dos estudantes, devendo o professor levar isto em consideração para se planejar e colocar em prática o processo de ensino, (Costa, 2000). Assim, é importante perceber que o construtivismo é uma teoria sobre a aprendizagem e não um conjunto de técnicas pedagógicas, sendo útil principalmente para os professores reformularem suas práticas de ensino, (Fosnot, 1999), (Nogueira, 2014).

Para Martínez et al., (Martínez, Martínez, & Gómez, 1999), a teoria do construtivismo pode ser classificada como:

- **Construtivismo Piagetiano** – Surge entre os anos sessenta e setenta instigado pelo descontentamento com a teoria behaviorista, baseando-se nas ideias epistemológicas de Jean Piaget, onde o foco principal é a consideração da construção ativa do conhecimento por parte do estudante. A aprendizagem ocorreria através de um processo de **assimilação**, **acomodação** e **equilíbrio**, onde ocorre uma inter-relação entre os conhecimentos novos e os pré-existentes.

- **Construtivismo Social** – Surge no final dos anos setenta com base nos trabalhos de Driver e Easley, onde passou-se a dar ênfase ao estudo empírico no ensino das ciências. Como características principais estão: supervalorização dos princípios de Piaget sobre as impressões das crianças sobre a natureza e adoção de modelos de interpretação (ideias intuitivas).
- **Construtivismo Humano** – Nasce em inícios da década de oitenta com J. D. Novak, tendo como base ideias de Ausubel (aprendizagem significativa), Toulmin e Kuhn (considerações epistemológicas). Defende o uso de mapas conceituais, considerando que as ideias do indivíduo e da ciência são diferentes (o que não caracteriza um erro), por isso, as ideias do estudante podem ser muitas vezes incoerentes.
- **Construtivismo Radical** – Surge no início dos anos noventa com base nas ideias de Von Glaserfeld. Considera que o conhecimento é construído pelo estudante, sendo o significado pessoal, podendo por isso diferir daquele que acompanha o próprio conceito, ou seja, a visão da ciência é relativa e depende da construção pessoal. Neste modelo, os conceitos devem ser considerados pessoais e intransferíveis, ou seja, o professor como mediador deve ter em mente que apenas irá ajudar o estudante a construir seus próprios conceitos.

Jorge Valadares, ao criticar o construtivismo radical (a importância está apenas nos aspectos meta-cognitivos), defende que ao se pensar nas estratégias de ensino de ciências com base no construtivismo é importante delimitá-las ou perceber-las não totalmente separadas de outras linhas filosóficas, como por exemplo, o racionalismo lógico. Ou seja, para o investigador é necessário sem dúvida considerar os fatores cognitivos sem os quais seria impossível investigar a natureza, porém sem os dados fornecidos pela própria natureza não “*haveria mais conhecimento na mais rica das mentes*”. Por isso, não faz sentido discutir ou defender o método por ser mais ou menos empírico-indutivista ou racionalista, (Valadares, 2001).

Segundo Machado ao citar Duarte, (Machado, 2012), (Duarte, 1999), o insucesso dos estudantes na escola fez com que muitos investigadores no final dos anos 90 chamassem a atenção para a necessidade de uma educação que evidenciasse as relações entre concepções alternativas e estratégias pedagógicas, afim de promover a mudança conceitual dos estudantes, o que fez com que as práticas de ensino de ciências começassem a ser contestadas levando à busca de estratégias mais coerentes com a visão construtivista da ciência e da aprendizagem.

2.1.3 Estratégias para o ensino das ciências

As estratégias adotadas para o ensino das ciências devem considerar aspectos cognitivos, mas também aspectos práticos e lógicos inerentes ao próprio método científico e por que não dizer à própria natureza, como por exemplo, o conhecimento sobre os processos metodológicos-indutivos para produção ou aprendizagem de conceitos. Segundo J. D. Novak e Gowin as estratégias que consideram a aprendizagem significativa e por memorização formam um contínuo distinto, que pode ser visto na figura a seguir, sendo interessante notar que os métodos que seguem modelos da investigação científica resultam em mais aprendizagem significativa e estímulo para a autonomia, (Novak & Gowin, 1996):

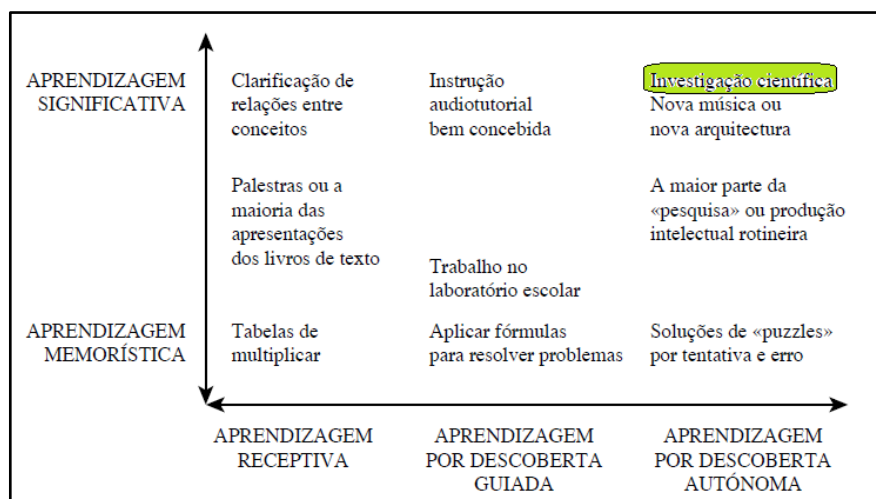


Figura 2-2. Figura adaptada do livro de Novak e Gowin, onde as estratégias para aprendizagem significativa e por memorização formam um contínuo distinto, destacando que os métodos que seguem modelos de investigação científica resultam em mais aprendizagem significativa, (Novak & Gowin, 1996).

Os professores devem deste modo adotar estratégias em que orientam os estudantes na investigação utilizando objetos experimentais e conceitos científicos à procura de respostas para determinadas questões, construindo de fato o conhecimento. Além disso, como bem observa Machado, fatores como a igualdade em relação aos dois sexos e a diversidade cultural, também devem ser levados em consideração na escolha e implementação de novos recursos e metodologias para o ensino das ciências, (Machado, 2012).

Como bem observa Jorge Valadares as estratégias experimentais com bases construtivistas são benéficas para os estudantes por despertarem inúmeras capacidades, entre as quais, (Valadares, 2001):

- **Aquisitivas** – ouvir, observar, pesquisar, inquirir, etc.
- **Organizacionais** – registrar, comparar, contrastar, classificar, etc.
- **Criativas** – planificar, arquitetar, inventar, etc.
- **Manipulativas** – manipulação de instrumentos científicos e tecnológicos, etc.

- **Comunicativas** – formular questões, representar resultados, etc.

Os métodos e estratégias para o ensino das ciências podem ser classificados de duas formas básicas, como sendo mais centrados no estudante (o foco principal é a aprendizagem) ou mais centrados no professor (o foco principal é o processo ou didática de ensino). Com definições resumidas, listamos a seguir o que segundo Treagust são os principais métodos e estratégias no ensino das ciências (Treagust, 2013):

- **“*Demonstration*”** (Demonstrativo) – o professor demonstra aos estudantes como realizar uma tarefa específica através de uma sequência de procedimentos, onde posteriormente o estudante deverá ser capaz de realizá-la sozinho, (Glasson, 1989).
- **“*Classroom explanation*”** (Explicativo em sala de aula) – o professor descreve, na maioria das vezes de forma oral, fenômenos que considera relevante ou desenvolve a lógica por trás de um conteúdo, (Odora, 2014).
- **“*Questioning*”** (Questionamento) – o professor faz perguntas aos estudantes sobre elementos presentes nos conteúdos, onde as perguntas servem ao mesmo tempo como instruções e sugestões sobre o que e como fazer, (Chin, 2007), (Ramsey, Gabbard, Clawson, Lee, & Henson, 1990), (ORBIT, 2012).
- **“*Forms of representation*”** (Formas de representação) – utiliza formas de representação de um fenômeno que é difícil de ser observado pelos estudantes com a finalidade de ajudar na compreensão e aprendizagem, podendo ser por exemplo, modelos, analogias, gráficos, diagramas, figuras ou simulações, (Tytler, Vaughan, Hubber, & Waldrup), (Treagust, 2013).
- **“*Group and cooperative learning*”** (Aprendizagem de grupo cooperativa) – trabalho em pequenos grupos estruturados de forma cuidadosa para que haja interação e troca de informações entre os estudantes com a finalidade de maximização da aprendizagem do

próprio indivíduo e de seus pares, onde a avaliação poderá ser individual ou em grupo, (Lopes & Silva, 2009), (Fathman & Kessler, 1993), (Johnson, Johnson, & Holubec, 1993).

- **“Learning cycle”** (*Aprendizagem por ciclo*) – com foco no estudante é frequentemente descrito como um ciclo (Figura 2-3. Learning Cycle, .), com etapas em espiral (*question formulation (formulação da questão); investigation (investigação); ciation of a solution or an appropriate response (criação de uma solução ou resposta apropriada); discussion (discussão); reflexion with results (reflexão com resultados)*) onde o objetivo no ensino das ciências é a aprendizagem de forma ativa, ou seja, onde o estudante tem participação direta no processo de ensino-aprendizagem, por exemplo, criando questões e utilizando o método científico para encontrar respostas que conduzam ao entendimento de conceitos. No “Learning Cycle”, também chamado “*Inquiry-Based Learning*”, o professor assume o papel de colaborador e orientador, guiando o estudante no processo de descoberta, (ORBIT: The Open Resource Bank for Interactive Teaching, 2014).

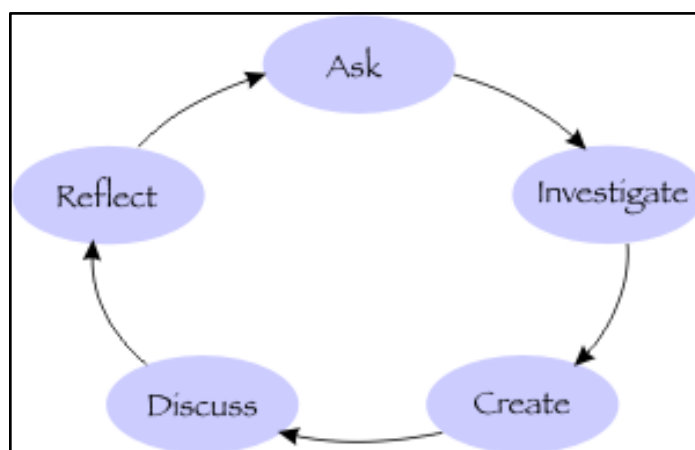


Figura 2-3. Learning Cycle, (ORBIT: The Open Resource Bank for Interactive Teaching, 2014).

Para Treagust, atualmente quatro fatores têm influenciado a escolha das estratégias para ensino das ciências, (Treagust, 2013):

- A consideração de que o conhecimento deve ser produzido pelo próprio estudante;
- A consideração de que determinados conteúdos devem ser vistos como uma “questão problemática”;
- A consideração de que métodos e estratégias de ensino devem trabalhar principalmente o lado cognitivo dos estudantes levando a melhorias na aprendizagem conceitual;
- A consideração de que muitos professores podem fazer investigações sobre os métodos enquanto os utilizam.

2.1.4 A estratégia cooperativa no ensino das ciências

Na aprendizagem cooperativa, os estudantes são organizados de forma sistemática em pequenos grupos para possibilitar a realização de tarefas, (Machado, 2012). Esta promoção das interações é importante no processo de ensino e aprendizagem, seja pelo estímulo à troca de informações entre os estudantes, seja pelo chamamento da conscientização de que o conhecimento (ou produção) científico não se faz sozinho, mas em equipes que podem reunir especialistas de diferentes áreas.

A aprendizagem através do método cooperativo além de trazer vantagens a nível de rendimento escolar, propicia a melhoria das relações interpessoais, (Lopes & Silva, 2009), (Bessa & Fontaine, 2002), (Machado, 2012). No processo de ensino cooperativo o estudante percebe que os benefícios do trabalho não são individuais, mas estendem-se a todo o grupo, abrangendo, por exemplo, até aqueles que não participaram diretamente da solução de determinados problemas investigados, mas beneficiam-se de tais soluções (Johnson, Johnson, & Holubec, 1999), (Johnson & Johnson, 1999). Esta é, aliás, a grande diferença entre uma

aprendizagem colaborativa (em que os diferentes membros do grupo participam e trocam informações entre si para, por exemplo, resolver um problema) e uma aprendizagem cooperativa em que o sucesso de uma tarefa depende fortemente do trabalho individual de cada membro e da forma como partilham o conhecimento entre todos os membros desse grupo, sendo as vantagens (e desvantagens) desse trabalho de grupo partilhado entre todos.

Ao contrário da aprendizagem individualista ou competitiva, a estratégia de aprendizagem cooperativa no ensino das ciências permite o desenvolvimento do pensamento crítico, onde a informação pode ser avaliada de forma conjunta, (Johnson, Johnson, & Holubec, El aprendizaje cooperativo en el aula, 1999), (Harlen, 2015). Este deve ser o real sentido da educação em ciências, não necessariamente formar um cientista, mas contribuir para a formação de um cidadão capaz de discutir com outros sobre as tecnologias e transformações do ambiente em que vive com a força do conhecimento ou argumento científico.

Lopes e Silva organizaram o conjunto de vantagens da aprendizagem cooperativa citado por Panitz, Palmer, Peters e Streetman em quatro categorias, (Lopes & Silva, 2009), (Panitz, 1996), (Palmer, Peters, & Streetman, 2003):

Tabela 2-2. Vantagens da aprendizagem cooperativa, (Lopes & Silva, 2009).

| CATEGORIAS | DIMENSÕES |
|-------------------------------|---|
| BENEFÍCIOS SOCIAIS | <ul style="list-style-type: none"> • Estimula e desenvolve as relações interpessoais; • Promove respostas sociais positivas em relação aos problemas; |

| | |
|--------------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Estimula um ambiente de apoio a gestão de resolução de conflitos; • Cria um sistema de apoio social mais forte; • Encoraja a responsabilidade pelos outros; • Desenvolve um maior número de relações heterogêneas positivas; • Encoraja a compreensão da diversidade; • Encoraja uma maior capacidade dos alunos para verem as situações, assumindo as perspectivas dos outros (desenvolvimento da empatia); • Estabelece uma atmosfera de cooperação e de ajuda em toda a escola; • Ensina os alunos a como criticar ideias, não pessoas; • As salas de aula cooperativas podem ser usadas para modelar ou exemplificar comportamentos sociais desejáveis e necessários a situações de emprego em que se utilizam equipes e grupos; • Os alunos praticam a modelagem social e os papéis relacionados com o trabalho; • Fomenta o espírito de constituição de equipe para a resolução de problemas ao mesmo tempo que mantém a responsabilidade individual; • Fomenta a prática do desenvolvimento de competências de liderança; • Aumenta as competências de liderança das alunas; • Proporciona os fundamentos para o desenvolvimento de comunidades de aprendizagem nas instituições e nos cursos; • Auxilia os professores a deixarem de ser o centro do processo de ensino para se tornarem facilitadores da aprendizagem, permitindo passar da aprendizagem centrada no professor para a aprendizagem centrada no aluno. |
| BENEFÍCIOS PSICOLÓGICOS | <ul style="list-style-type: none"> • Promove o aumento da autoestima; |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Melhora a satisfação do aluno com as experiências de aprendizagem; • Encoraja os alunos a procurar ajuda e a aceitar a tutoria dos outros colegas; • Reduz significativamente a ansiedade na sala de aula; • Reduz significativamente a ansiedade nos testes; • Cria uma atitude mais positiva dos alunos em relação aos professores, elementos do conselho executivo e outros agentes educativos e uma atitude mais positiva dos professores em relação aos seus alunos; • Estabelece elevadas expectativas para alunos e professores. |
| <p>BENEFÍCIOS ACADÊMICOS</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolve competências de pensamento de nível superior; • Estimula o pensamento crítico e ajuda os alunos a clarificar as ideias através da discussão e do debate; • O desenvolvimento das competências e da prática podem ser melhoradas e tornarem-se menos aborrecidas por meio das atividades de aprendizagem cooperativa dentro e fora da aula; • Desenvolve as competências de comunicação oral; • Fomenta as competências metacognitivas nos alunos; • As discussões cooperativas melhoram a recordação do conteúdo do texto por parte dos alunos; • Cria um ambiente de aprendizagem ativo envolvente e investigativo; • Proporciona treino sobre as estratégias de ensino eficazes para a próxima geração de professores; • Auxilia os alunos a deixarem de considerar os professores como as únicas fontes de conhecimento e saberes; • Promove os objetivos de aprendizagem em vez dos objetivos de desempenho; • Permite aos alunos exercitarem um sentimento de controle sobre a tarefa; |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">• Melhora o rendimento escolar dos alunos e a assiduidade às aulas;• Contribui para o desenvolvimento de uma atitude mais positiva em relação às matérias escolares;• Aumenta a capacidade de retenção de informação pelo aluno;• Aumenta a persistência dos alunos na conclusão dos exercícios e a probabilidade de serem bem-sucedidos na conclusão dos mesmos;• Os alunos permanecem mais tempo na tarefa e apresentam menos problemas disciplinares;• Promove a inovação nas técnicas de ensino na sala de aula;• Desenvolve a demonstração ou exemplificação de técnicas de resolução de problemas pelos colegas;• Permite atribuição de tarefas mais desafiadoras sem tornar a carga de trabalho excessiva;• Melhora o desempenho acadêmico dos alunos mais fracos quando estes se juntam com colegas que têm melhor rendimento escolar;• Proporciona aos alunos que têm melhores notas a compreensão mais profunda que apenas resulta de ensinarem a matéria aos outros;• Leva à produção de mais e melhores questões na aula;• Os alunos exploram soluções alternativas para os problemas num ambiente seguro;• Permite atender às diferenças de estilos de aprendizagem dos alunos;• É especialmente útil na aprendizagem das línguas estrangeiras em que as interações que envolvem o uso da língua são importantes;• É especialmente útil para o ensino da matemática;• Enquadra-se bem na abordagem construtivista do ensino-aprendizagem. |
|--|---|

| | |
|---------------------------------------|--|
| <p>BENEFÍCIOS NA AVALIAÇÃO</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Proporciona formas de avaliação alternativas tais como a observação de grupos, avaliação do espírito do grupo e avaliações individuais escritas curtas; • Permite “<i>feedback</i>” imediato aos alunos e ao professor sobre a eficácia de cada turma e sobre o progresso dos alunos, a partir da observação do trabalho individual e em grupo; • Os grupos são mais fáceis de supervisionar do que os alunos individualmente. |
|---------------------------------------|--|

Lopes e Silva também observam que a aprendizagem cooperativa tem desvantagens que devem ser evitadas na sala de aula, (Lopes & Silva, 2009):

- Alunos que se aproveitam do trabalho dos colegas;
- A responsabilidade não ser igualmente dividida;
- Cada aluno especializar-se em apenas uma parte da tarefa;
- Supervalorização dos procedimentos em vez da aprendizagem;
- Reforço das concepções em vez da sua reestruturação;
- Demasiado foco nas relações sociais em detrimento da aprendizagem conceitual;
- Muda a dependência do professor para um outro estudante líder de grupo;
- Aumento de estatutos dentro do grupo.

Lopes e Silva sugerem as etapas mostradas na figura a seguir para a aplicação eficiente da aprendizagem cooperativa em sala de aula, (Lopes & Silva, 2009):

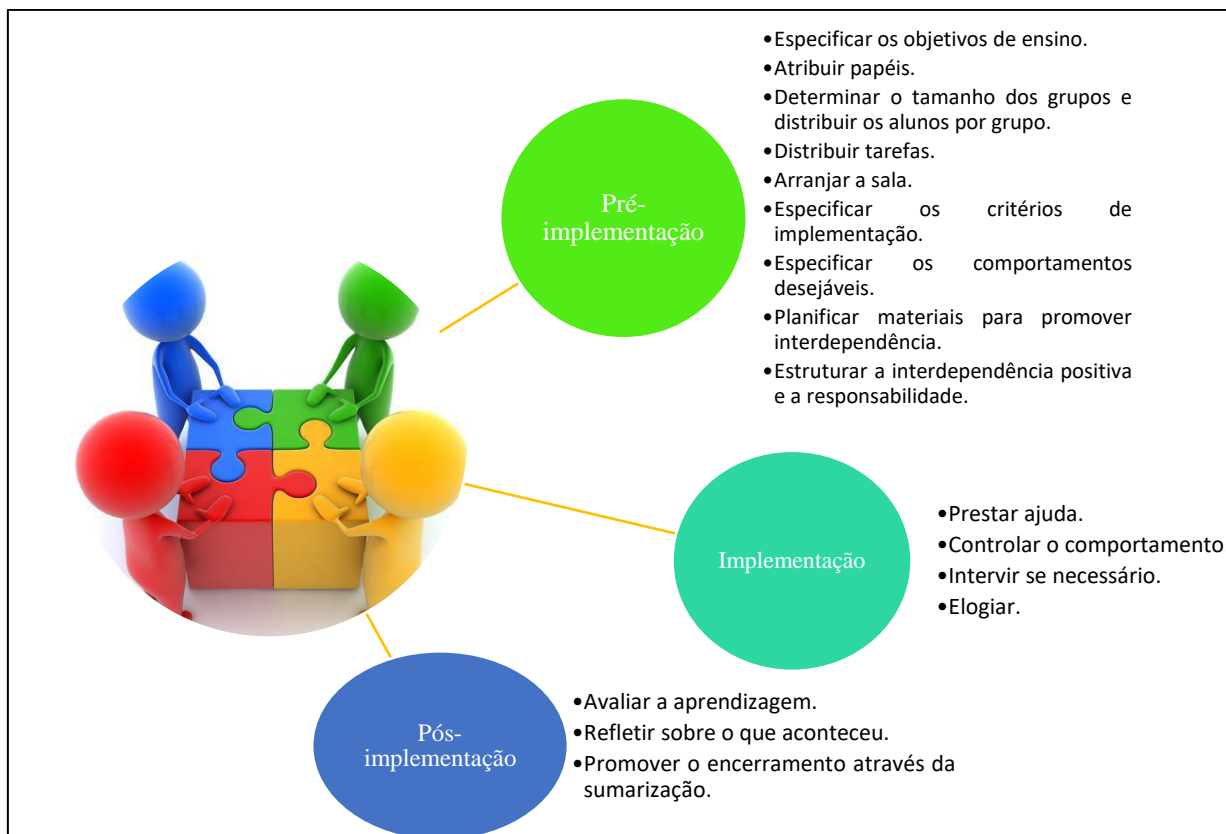


Figura 2-4. Aprendizagem cooperativa na sala de aula, adaptado da obra de Lopes e Silva, (Lopes & Silva, 2009).

Portanto, a aprendizagem cooperativa é uma estratégia fortemente vantajosa para o ensino das ciências quando comparada ao ensino tradicional, pois permite o desenvolvimento de habilidades de comunicação, interação entre pares e evolução mais rápida da aprendizagem conceitual, além de enfatizar a produção coletiva de conhecimento para a resolução de problemas. Daí a adoção de princípios da aprendizagem cooperativa à outras estratégias de ensino, como no caso do “*Inquiry-Based Learning*” que será abordado na seção a seguir.

2.2 Ensino das ciências – instrução por “*Inquiry*”

Esta seção foi dividida em duas subseções, as quais têm como objetivo apresentar considerações sobre a estratégia “*Inquiry-Based Learning*” ou como iremos designar

simplesmente por “*Inquiry*”, já que esta é a base metodológica do “*Photonics Explorer kit*”, ferramenta estudada nesta investigação. Na primeira parte são apresentadas considerações gerais necessárias para compreensão sobre o que é o “*Inquiry*”. Já na segunda parte são apresentados temas importantes para a discussão do “*Inquiry*” no ensino das ciências, a saber: a estrutura metodológica da instrução por “*Inquiry*”, o papel do professor e a organização da intervenção, a discussão sobre algumas das vantagens para o ensino das ciências a partir da instrução por “*Inquiry*”, e finalmente algumas dificuldades ou empecilhos referenciados na literatura para a aplicação do “*Inquiry*” no ensino das ciências a um nível mais amplo do que se vê atualmente.

2.2.1 O que é o “*Inquiry-Based Learning*”?

A palavra “*inquiry*” refere-se a um conjunto de técnicas e paradigmas aplicados ao ensino e aprendizagem das ciências. Na sua essência o método busca resultados eficazes e significativos de aprendizagem através da aplicação do método científico com participação direta do estudante no processo de ensino-aprendizagem, ou seja, a aprendizagem ou construção do conhecimento acontece através de etapas que incluem desde a formulação de hipóteses, experimentação e divulgação dos resultados pelos aprendizes, à semelhança de como faria um investigador, (National Research Council, 1996).

A metodologia de ensino “*Inquiry-Based Learning*” tem como objetivo principal a participação direta do estudante no processo de busca de informações e aplicação dos conhecimentos adquiridos na resolução de problemas do dia-a-dia. O processo é catalisado através de questionamentos, principalmente sobre temas que podem ser percebidos na realidade

dos estudantes, como, por exemplo, tecnologias que envolvem fontes renováveis de energia, comunicação via “*mobiles*”, computadores, etc.

Inspirados pelas ideias de pensadores como Rousseau (1712-1778), Pestalozzi (1746-1827) e Froebel (1782-1852), vários investigadores como Dewey, Homer Lane, Montessori, Joseph Schwab, Bruner, Piaget, entre outros, impulsionaram as bases teóricas dos currículos e materiais desenvolvidos para o ensino das ciências nos Estados Unidos nas décadas de 1950 até início da década de 1970, período em que a instrução através de “*inquiry*” começa a ganhar força, (Harlen, 2015). As mudanças de paradigma quanto ao ensino das ciências (por exemplo, cientistas que criassem e não somente reproduzissem) foram forçadas principalmente pela disputa entre Estados Unidos e União Soviética, por exemplo, no desenvolvimento de tecnologias para exploração espacial (corrida espacial), (Loucks-Horsley & Olson, 2000). Nos anos de 1990 a metodologia entra novamente em evidência com a “*National Science Education Standards*” nos Estados Unidos da América, (National Research Council, 1996), (National Research Council, 2001).

De modo generalista, pode se dizer que o “*Inquiry-Based Learning*” teve origem no Movimento da Aprendizagem por Descoberta, o qual foi baseado (mas não só) nos trabalhos do filósofo da educação John Dewey (1859 – 1952), o qual defendeu ainda no começo do século XX ser possível alcançar melhores resultados de aprendizagem quando os estudantes aplicavam o método científico em vez da simples memorização de conceitos (petição feita por Dewey a “*American Association for the Advancement of Science*”), (Loucks-Horsley & Olson, 2000), (Lazonder & Harmsen, 2016), (Loucks-Horsley & Olson, 2000). Segundo as palavras de Dewey:

“Science is more than a body of knowledge to be learned, there is a process or method to learn as well (Dewey, 1910)”, (Olson & Loucks-Horsley, 2000, p. 14).

O método alinha-se na perspectiva construtivista, embora divirja daquela em termos de construção orientada e estruturada do conhecimento, (Dewey, 1997), (Freire, 2000), (Vygotsky, 1986). Nesta vertente os conhecimentos prévios e experiências dos alunos influenciam a dinâmica da aprendizagem, devendo, portanto, ser levados em consideração. Porém, para Bonwell e Eison a ênfase principal está no desenvolvimento de habilidades conceituais e experimentais, sendo os conhecimentos prévios apenas uma das variáveis que devem ser consideradas no processo de ensino para se atingir tais objetivos, (Bonwell & Eison, 1991).

O *“Inquiry-Based Learning”* abrange um range de métodos e técnicas que leva os estudantes a despertar a curiosidade em resolver problemas através de um processo ativo de investigação e análise crítica dos dados obtidos. A instrução por *“Inquiry”* (que também aparece na literatura como *“Inquiry Teaching”*) pode variar em intensidade de implementação, além de incluir diferentes abordagens como ensino individual ou grupos de trabalho em aulas convencionais ou extraclasse, com ou sem supervisão de um professor (Freeman, et al., 2014).

2.2.2 O *“Inquiry-Based Learning”* no ensino e aprendizagem das ciências

Segundo Mintzes, Wandersee e Novak, o *“Inquiry”* no ensino das ciências deve ter a qualidade como fator principal em detrimento a aspectos meramente quantitativos. Ademais, observa que a memorização de conteúdo não deve ser o principal na avaliação da aprendizagem, mas sim a compreensão significativa dos conceitos abordados por uma ciência. Estes autores enfatizam que os objetivos principais da metodologia podem ser enumerados da seguinte forma, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998):

- Aprendizagem significativa vs aprendizagem mecânica;
- Qualidade vs quantidade;
- Significado vs memorização;
- Compreensão vs conhecimento.

Em outra análise, os mesmos autores também observam que a teoria educacional como aquela que trata sobre metodologias de ensino de ciências, deve estar em constante atualização através dos resultados das pesquisas empíricas e de aplicações práticas, (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998).

A base do “*Inquiry-Based Learning*” pode ser resumida com a famosa frase, (CONCEPT TO CLASSROOM, 2004), atribuída a Xun Kuang, um filósofo chinês que viveu entre 312-230 A.C:

"Tell me and I forget, show me and I remember, involve me and I understand."

Na aplicação deste método no ensino das ciências, o questionamento é o ponto de partida na busca e construção do conhecimento por parte do aluno. Este deve questionar-se sobre os fenômenos que observa e, por processos autônomos e grupais, deve buscar bases teóricas que o ajudem a compreender significativamente o objeto de estudo, (Loucks-Horsley & Olson, 2000). Como bem observa o grupo de trabalho “*Concept to classroom*”, o “*inquiry*” é um processo complexo que envolve indivíduos atentos, capazes de converter dados e informações em conhecimento de forma aplicável, (CONCEPT TO CLASSROOM, 2004).

O “*Inquiry-Based Learning*”, aplicado principalmente ao ensino das Ciências e Matemática (por isso, também chamado de “*Scientific Inquiry*”, “*Scientific Discovery*

Learning” ou “*Inquiry-Based Science*”), inclui na dinâmica de aprendizagem os processos da investigação científica, como a previsão de possíveis resultados, a experimentação e a interpretação de resultados obtidos, (Eckhardt, Urhahne, Conrad, & Harms, 2013), (Bruner J. S., *The act of discovery*, 1961), (de Jong & van Joolingen, 1998), (van Joolingen, de Jong, Lazonder, Savelsbergh, & Manlove, 2005), (Klahr & Dunbar, 1988), (Klahr, Fay, & Dunbar, 1993), (de Jong, 2006), (Reid, Zhang, & Chen, 2003).

Segundo Loucks-Horsley e Olson, ao citarem o “*National Science Education Standards*” dos Estados Unidos da América, a metodologia “*Scientific Inquiry*” pode ser definida como:

“Scientific inquiry refers to the diverse ways in which scientists study the natural world and propose explanations based on the evidence derived from their work. Inquiry also refers to the activities of students in which they develop knowledge and understanding of scientific ideas, as well as an understanding of how scientists study the natural world”, (Olson & Loucks-Horsley, 2000, p. 1).

Em tradução livre:

“...se refere as diversas formas pela qual os cientistas estudam o mundo natural e propõem explicações baseadas nas evidências derivadas dos seus trabalhos. ...também se refere às atividades dos estudantes nas quais desenvolvem o conhecimento e entendimento das ideias científicas, assim como o entendimento de como os cientistas estudam o mundo natural”.

Ainda segundo Loucks-Horsley e Olson:

“Inquiry is a multifaceted activity that involves making observations; posing questions; examining books and other sources of information to see what is already known; planning investigations; reviewing what is already known in light of experimental evidence; using tools to gather, analyze, and interpret data; proposing answers,

explanations, and predictions; and communicating the results. Inquiry requires identification of assumptions, use of critical and logical thinking, and consideration of alternative explanations”, (Olson & Loucks-Horsley, 2000, pp. 13-14).

Em tradução livre:

“...é uma atividade de múltiplas faces que envolve fazer observações; colocar questões; examinar livros e outros recursos de informação para saber o que é conhecido; planejar investigações; rever o que já é conhecido sob a luz de evidências experimentais; usar ferramentas para reunir, analisar e interpretar dados; propor respostas, explicações e previsões; e comunicar os resultados. ...requer a identificação de suposições (ou hipóteses), uso do pensamento lógico e crítico e consideração de explicações alternativas”.

2.2.2.1 Abordagens e estruturas do “*Inquiry*” no ensino e aprendizagem das ciências

Quando se trata dos modelos de instrução, para Colburn existem quatro tipos de instrução por “*inquiry*”, (Colburn, 2000):

- “***Structured Inquiry***” (Inquérito estruturado) – os estudantes recebem roteiros simples de experiências, de onde devem responder a questões com base em observações.
- “***Guided Inquiry***” (Inquérito guiado) – os estudantes recebem instruções de como utilizar determinados materiais. Após utilizá-los, é permitido que realizem combinações registrando suas observações.
- “***Open Inquiry***” (Inquérito aberto) – o material é dado aos estudantes sem um roteiro, apenas para que realizem determinadas observações.

- **“*Learning Cycle*”** (Aprendizagem em ciclo ou em espiral) – os estudantes seguem procedimentos de investigação, e em seguida o professor discute suas “descobertas”. Os conceitos são observados nos experimentos antes que o professor os discuta. Num momento posterior os estudantes retornam ao laboratório para aplicar, numa nova situação, o que aprenderam.

Já para Banchi e Bell os modelos de instrução por “*inquiry*” podem ser designados em, (Banchi & Bell, 2008):

- **“*Confirmation Inquiry*”** (Inquérito por confirmação) – os estudantes confirmam um princípio numa atividade, onde os resultados são conhecidos antecipadamente.
- **“*Structured Inquiry*”** (Inquérito estruturado) – os estudantes investigam uma questão apresentada pelo professor através de um roteiro experimental.
- **“*Guided Inquiry*”** (Inquérito guiado) – os estudantes têm a oportunidade de preparar e selecionar determinados procedimentos para responder a uma questão que lhes é colocada.
- **“*Open Inquiry*”** (Inquérito aberto) – é a forma mais aberta de “*Inquiry*”, onde os estudantes formulam questões, constroem os procedimentos para dar resposta às questões formuladas e têm de ser capazes de desenvolver formas de comunicar os resultados com argumentação.

Apesar das diferenças nos modos (ou modelos) de implementação do “*inquiry*” citados na literatura (muitas vezes com nomenclaturas diferentes, porém com a mesma estrutura), quando aplicados ao ensino das ciências todos são descritos como tendo o mesmo objetivo: propiciar a aprendizagem significativa e eficaz dos estudantes através de estímulos cognitivos enquanto realizam atividades semelhantes às de um cientista, (American Association for the Advancement of Science, 1993-2009).

Segundo Loucks-Horsley & Olson, as etapas da instrução por “*Inquiry*” (semelhantes a uma investigação científica) que devem ser seguidas para se alcançar os objetivos de aprendizagem pretendidos são:

Proposta de questões que despertem a curiosidade dos estudantes → Formulação de hipóteses que possam explicar ou responder as questões colocadas → Planeamento e condução de experimentos ou observações que testem as hipóteses → Coleta e organização de dados e evidências → Construção de explicações baseadas nos dados e evidências obtidos → Consideração de outras explicações, por exemplo, publicadas na literatura → Comunicação formal dos dados obtidos e explicações construídas, (Loucks-Horsley & Olson, 2000).

Segundo descrição feita pelo projeto ORBIT da “*University of Cambridge*”, o processo de “*Inquiry*” no ensino das ciências segue a seguinte sequência, (ORBIT: The Open Resource Bank for Interactive Teaching, 2014):

- a) “***New experience or question***” (Nova experiência ou questão) – O processo começa por uma pergunta sobre o fenômeno (para dar sentido ao estudo do mesmo);
- b) “***Possible explanation***” (Possível explicação) – A partir de ideias anteriores busca-se possíveis explicações, sendo gerada então hipóteses para o fenômeno;
- c) “***Prediction***” (Previsão) – Deve haver a possibilidade de teste das hipóteses, pois somente aquelas com poder preditivo¹ são válidas e selecionadas;
- d) “***Plan and conduct investigation***” (Planificação e implementação da investigação) – É feito o planejamento e obtenção de dados através da experimentação;

¹ Predição ou previsão: Ato de afirmar com convicção aquilo que poderá acontecer num momento futuro.

- e) “**Interpret data**” (Interpretação dos dados) – Os dados obtidos são analisados e comparados com as hipóteses da fase “*prediction*”;
- f) “**Conclusion**” (Conclusão) – Uma conclusão é formulada, sendo que a ideia inicial (*existing idea*) se torna mais ampla (*bigger idea*) ao ponto que pode (ou pode servir como base para) explicar outros fenômenos.

As etapas b, c e d, podem ocorrer várias vezes (ciclos), dependendo do número de hipóteses que podem ser testadas. A importância do processo de “*inquiry*” descrito anteriormente está, também, na possibilidade de refutar a ideia inicial, ou seja, mesmo que as possíveis explicações (*possible explanation*) não permitam chegar a uma conclusão coerente, uma ideia alternativa (*Alternative idea*) pode ser testada, (ORBIT: The Open Resource Bank for Interactive Teaching, 2014).

As figuras a seguir representam sequências da instrução por “*Inquiry*” tal como foi descrito anteriormente, (Artigue, Dillon, Harlen, & Léna, 2012), (Harlen, 2015):

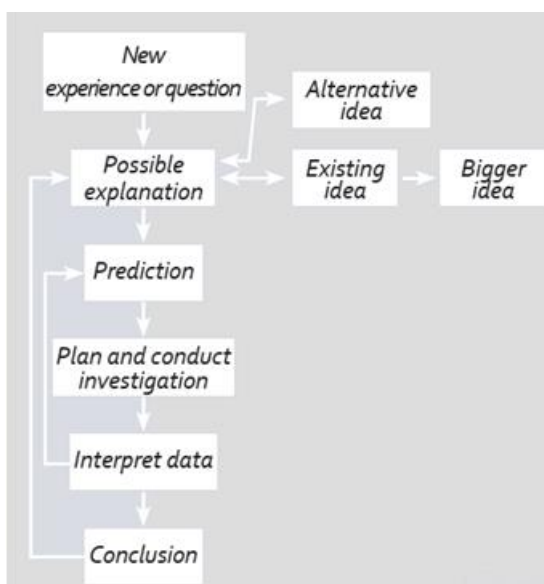


Figura 2-5. Sequência na instrução de ciências através de “*Inquiry*”, (Artigue, Dillon, Harlen, & Léna, 2012).

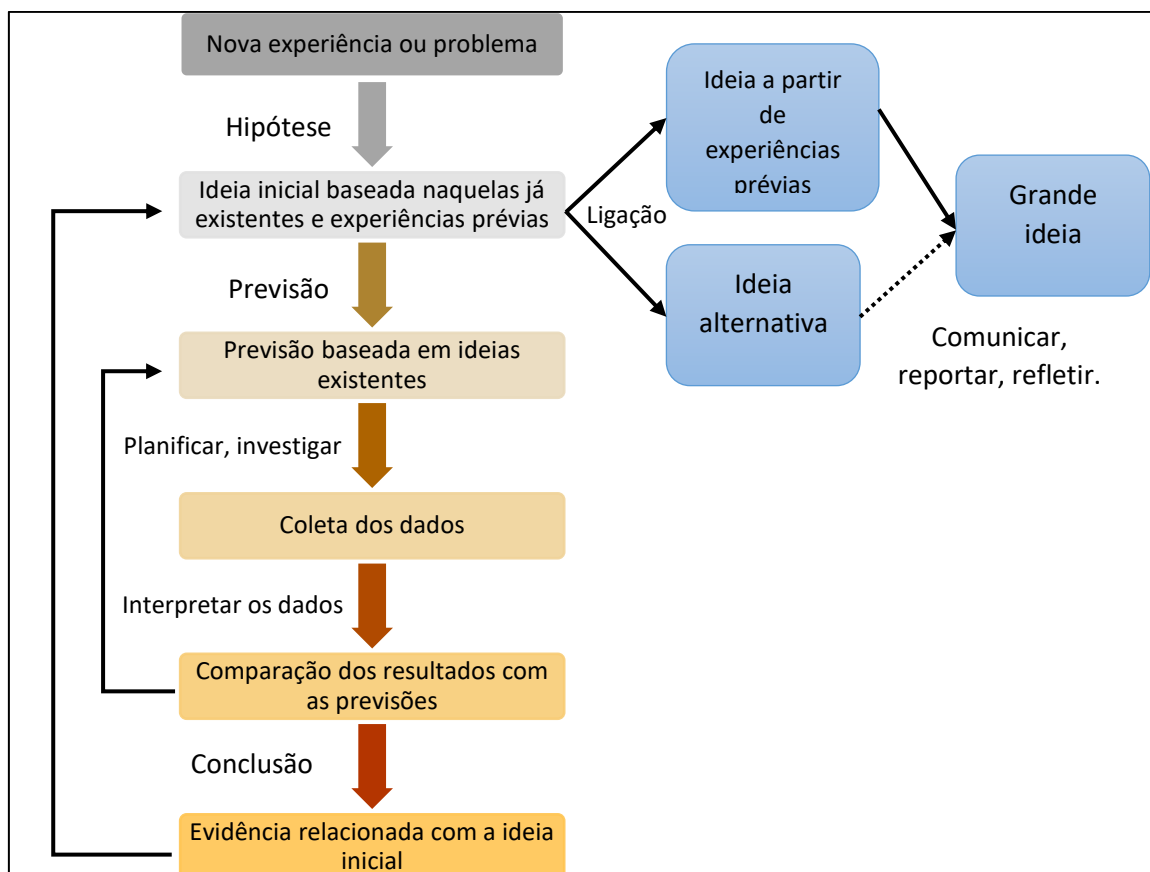


Figura 2-6. Sequência na instrução de ciências através de “*Inquiry*”, adaptado do livro de Wynne Harlen, (Harlen, 2015).

No ensino das ciências, o objetivo central das etapas do processo de “*inquiry*” citados anteriormente é despertar o interesse do estudante pela ciência e permitir que este aprenda de forma eficaz e significativa, não sendo somente um memorizador de informações, mas sendo um aprendiz capaz de, por exemplo, relacionar múltiplos conceitos ou informações para resolução de um problema quando necessário.

2.2.2.2 O professor e a organização da intervenção por “*Inquiry*”

A instrução por “*Inquiry*” no ensino das ciências traz vantagens também para o professor, por exemplo, ao permitir que o docente conheça de forma mais aprofundada certas

características cognitivas importantes dos estudantes, como a forma pela qual interpretam, entendem e agregam as ideias. Este diagnóstico possibilita que estratégias de ensino e aprendizagem mais refinadas sejam traçadas com maior rigor, considerando-se assim uma realidade ou contexto específico.

Aconselha-se que o professor no início dos trabalhos em uma instrução por “*Inquiry*” se atente para a importância das seguintes etapas:

- a) **Pré-planejamento** – devem ser verificados fatores como os conteúdos que serão abordados, tempo, características do público alvo, ferramentas que serão utilizadas (a organização do processo está diretamente relacionada com os resultados), etc.
- b) **Discussão** – no início é necessária para introduzir conceitos básicos e para diagnosticar o que os estudantes conhecem do assunto que será trabalhado (caso necessário deverá ser feita uma revisão de conteúdos).
- c) **Questionamento** – onde são colocadas questões para os estudantes, que devem ser investigadas e discutidas para posteriormente serem respondidas (têm de ser coerentes com o contexto e possíveis de responder).

A tabela a seguir mostra sugestões a serem seguidas pelo docente durante uma intervenção por “*Inquiry*” para obter resultados eficazes e significativos de aprendizagem, (Cantillon, Hutchinson, & Wood, 2003):

Tabela 2-3. Tabela com sugestões a serem seguidas pelo professor durante uma intervenção por “*inquiry*”, (Cantillon, Hutchinson, & Wood, 2003).

| | |
|--|--|
| <p>DOMÍNIO DO CONTEÚDO</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O professor deve dominar o conteúdo que está sendo ensinado, inclusive compreendendo como este está ordenado no currículo. • O professor deve estar a par do nível de conhecimento dos estudantes em relação aos assuntos estudados. |
| <p>AMBIENTE DE APRENDIZAGEM</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A sala de aula deve ter condições de espaço e equipamentos para permitir a organização em grupos. • Os estudantes devem ser estimulados a conhecer cada um dos colegas e os objetivos da aprendizagem. • O professor deve estimular os estudantes, por exemplo, com elogios, e avaliações qualitativas dos trabalhos realizados. |
| <p>CONTEÚDOS QUE SERÃO TRATADOS</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentar os tópicos que serão abordados. • Mostrar para os estudantes como os novos tópicos complementarão os tópicos anteriores. • Introduzir os trabalhos sempre com uma ou mais questões. |
| <p>NO INÍCIO DA INTERVENÇÃO</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Dar oportunidade para que os grupos discutam as questões colocadas. • Permitir que os estudantes apresentem algum trabalho que tenham produzido. |
| <p>ENVOLVER OS ESTUDANTES</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Após as discussões, permitir que os grupos apresentem as respostas formuladas para questões colocadas. |

| | |
|---|---|
| HONESTIDADE | <ul style="list-style-type: none"> • O professor deve valorizar e considerar importante as conclusões apresentadas de diferentes formas pelos alunos, tais como, escrita, oral, em gráficos, etc. • O professor deve assumir que não conhece as respostas para tudo, mostrando que nenhum profissional detém todo o conhecimento. |
| FAZER PERGUNTAS OBJETIVAS | <ul style="list-style-type: none"> • Por que ...? • O que você pensa a respeito de ...? • Como você explica ...? |
| ESTAR ALERTA AS DINÂMICAS DE GRUPO | <ul style="list-style-type: none"> • Estar alerta à participação de todos os membros do grupo. |
| NO ENCERRAMENTO DAS ATIVIDADES | <ul style="list-style-type: none"> • Revisar os conteúdos abordados. • Descrever as conclusões. • Mostrar as interligações entre os diferentes conteúdos abordados. • Passar informações sobre as sessões seguintes. |

Quando trabalha a construção do conhecimento através de “*Inquiry*”, o professor deve ser capaz de compreender que não é somente um transmissor de informações, mas que tem um papel de organizador (controlando os trabalhos para os objetivos traçados), mediador e colaborador que ajuda e estimula os estudantes a descobrir o conhecimento e usá-lo de forma adequada. Para isto, pode utilizar diferentes recursos disponíveis, como as mídias digitais desenvolvidas para facilitar o ensino-aprendizagem de conceitos ou simplesmente para divulgar assuntos que serão estudados, (Cantillon, Hutchinson, & Wood, 2003).

2.2.2.3 Vantagens da instrução por “*Inquiry*”

Na instrução por “*Inquiry*”, o processo de aprendizagem ocorre através da investigação e é frequentemente indutivo, ou seja, utiliza a coleta de dados para a obtenção de informações, que serão depois analisadas para a compreensão de conceitos gerais que podem, muitas vezes, serem aplicados de forma prática, (Mandrin & Preckel, 2009). O método não é apenas uma forma de fazer perguntas, mas é uma forma de converter dados e informações em conhecimentos úteis. Isto não ocorre nas formas tradicionais de ensino, onde a memorização é fortemente privilegiada, levando a respostas muitas vezes com pouco significado para os estudantes, (teAchnology, s.d.), (Centre for Excellence in Enquiry-Based Learning - University of Manchester, 2010), (Alberta Learning, 2004), (Lazonder & Harmsen, 2016).

Na instrução por “*Inquiry*” o estudante tem um papel ativo, pois este desenvolve autonomia na sua aprendizagem assim como a habilidade de organizar o seu próprio conhecimento de forma prática (*hands-on*), (Colburn, 2000), (Freeman, et al., 2014). Este processo que pode ser implementado em todos os níveis de ensino, quando bem organizado e conduzido, oferece bons resultados no despertar do interesse pela ciência, assim como na aprendizagem e compreensão de conceitos, já que o ser humano desde a formação do seu processo cognitivo tem naturalmente curiosidade em saber como as coisas funcionam, formulando novas ideias à medida que aprende, (Loucks-Horsley & Olson, 2000).

O estudante quando aprende por métodos de “*Inquiry*” adquire competências para resolver problemas de forma autônoma utilizando os conhecimentos que adquiriu. Isto torna-se evidente principalmente no seu dia-a-dia e não somente na escola. Harlen observa que os benefícios da instrução em ciências por “*Inquiry-Based Learning*” não são somente para os estudantes, mas para a sociedade como um todo, (Harlen, 2015):

“For society, there are benefits if individuals and groups make more informed choices in relation to avoiding, for instance, waste of energy and other resources, pollution and the consequences of poor diet, lack of exercise and misuse of drugs. As well as impact on their own daily lives, these things have wider implications for their and others’ future lives through the longer-term impact of human activity on the environment”, (Harlen, 2015, p. 3).

Em tradução livre:

“Para a sociedade, há benefícios se os indivíduos ou grupos destes fizerem escolhas mais inteligentes para evitar, por exemplo, desperdício de energia e outros recursos, poluição e as consequências de uma má alimentação, falta de exercícios e abuso de drogas. Assim como no seu próprio dia-a-dia, estas coisas, tem amplas implicações para o seu futuro e dos outros, por conta dos impactos da atividade humana sobre o meio ambiente”.

Para Coulburn, o “*Inquiry*” aplicado ao ensino das ciências, ao permitir a investigação de temas por parte dos estudantes, nos moldes de uma investigação científica, desenvolve a compreensão das ideias científicas, como estas se originam e são modeladas, (Colburn, 2000).

Diferente do ensino que se baseia na exposição de conteúdos pelo professor com fins de simples transferência de informação para o estudante (onde é apenas ouvinte), a instrução de ciências através do “*Scientific Inquiry*” permite uma relação de cooperação entre ambos, ou seja, os argumentos (ideias, sugestões, novas informações) transitam em dois sentidos, a saber aluno-professor, professor-aluno, o que favorece uma aprendizagem mais eficaz, (Bruner, 1961).

Com base nos fundamentos teóricos dos modelos centrados no aluno, os quais refletem a tradição construtivista, a interação com os fenômenos propicia a construção de significados,

sendo que o conhecimento não é transmitido diretamente de uma pessoa para outra, mas compreendido e construído pelo próprio indivíduo, (Carey, 1985), (Carmichael, et al., 1990), (Piaget, 1970), (Von Glaserfeld, 1984), (Von Glaserfeld, 1983).

Diversos trabalhos defendem a metodologia de “*Inquiry*” como a melhor forma de ensinar ciências, como por exemplo, Kuhn e Klahr que observam que não é somente a melhor forma de “ensinar conteúdos de ciências”, mas principalmente de desenvolver competências significativas na aprendizagem das ciências, (Kuhn & Dean, 2005), (Klahr, 2000), (Bruner, 1961), (Bruner & Goodnow, 1986), (Harlen, 2015). Muitos destes trabalhos, através de estudos de desempenho, constataram estatisticamente que quanto maior o nível de implementação da instrução através de “*Inquiry*”, melhores são os resultados de aprendizagem obtidos, (Schroeder, Scott, Tolson, Huang, & Lee, 2007), (Mandrin & Preckel, 2009), (Alfieri, Brooks, Aldrich, & Tenenbaum, 2011), (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012), (Carolan, Hutchins, Wickens, & Cumming, 2014).

Segundo Ton de Jong, Linn e Zacharia as vantagens da aprendizagem através de técnicas de “*inquiry*” são observadas tanto através da utilização de recursos didáticos digitais (“*Simulation-Based Inquiry*”, por exemplo, simulações, laboratórios virtuais), assim como através de outros recursos, como, por exemplo, “*kits*” experimentais (“*Guided Inquiry*” ou “*Structured Inquiry*”) para o ensino das ciências, (Jong, Linn, & Zacharia, 2013). Apesar disso, as características particulares das diferentes ferramentas para instrução através de “*inquiry*”, fazem com que ofereçam resultados muitas vezes diferentes, obrigando, portanto, à avaliação de como devem ser utilizadas dependendo de inúmeras variáveis, como, conteúdos a serem abordados, objetivos de aprendizagem, entre outros, (D'Angelo, Rutstein, & Harris, 2014).

A seguir são listadas algumas das competências que podem ser desenvolvidas através de uma instrução baseada em “*Inquiry-Based learning*”, (Cantillon, Hutchinson, & Wood, 2003):

- Trabalho em grupo;
- Autonomia de aprendizagem;
- Aprendizagem adequada ao ritmo de cada um;
- Aprender a ouvir;
- Interpretação de dados;
- Explanação de conceitos;
- Criação de conhecimento;
- Desenvolvimento de liderança;
- Colaboração com outros indivíduos da mesma ou diferentes disciplinas;
- Habilidade para dar e receber “*feedback*”;
- Capacidade para desenvolver objetivos;
- Capacidade de avaliação crítica da literatura

Segundo Bonwell e Eison (Bonwell e Eison, 1991) os principais pontos positivos de uma metodologia de aprendizagem onde os estudantes têm papel ativo são, (Bonwell & Eison, 1991):

- Os estudantes envolvem-se muito mais do que aqueles que são ouvintes passivos;
- Os estudantes participam em atividades que desenvolvem habilidades de leitura, escrita e argumentação;

- A ênfase está no desenvolvimento de competências e não simplesmente na transmissão de informações;
- São exploradas atitudes e valores dos estudantes;
- Os estudantes sentem-se muito mais motivados;
- Os estudantes recebem constante “*feedback*” do professor;
- Os estudantes envolvem-se em rotinas de maior complexidade cognitiva, como por exemplo análises, sínteses, elaboração de relatórios, etc.

Para Secker e Lissitz a aprendizagem ativa proporciona autonomia, motivação e espírito crítico, além de promover a interdisciplinaridade. Além disso, é de grande importância o fato de que os alunos submetidos a este método de ensino obtêm melhores resultados em testes clássicos, (Secker & Lissitz, 1999).

Bok observa em seu trabalho:

“The average student will be unable to recall most of the factual content of a typical lecture within fifteen minutes after the end of class. In contrast, interests, values, and cognitive skills are all likely to last longer, as are concepts and knowledge that students have acquired not by passively reading or listening to lectures but through their own mental efforts”, (Bok, 2006, pp. 48-49).

Em tradução livre:

“O estudante com desempenho mediano não lembrará da maioria do conteúdo factual de uma aula típica passados 15 minutos depois do final. Ao contrário, os interesses, valores, e habilidades cognitivas são susceptíveis de durar mais tempo, assim como os conceitos e conhecimentos que os estudantes adquiriram não pela leitura ou audição de palestras de forma passiva, mas através de seus próprios esforços mentais”.

Para Harlen o “*Inquiry-Based Learning*” proporciona benefícios para o estudante que são dificilmente obtidos de outras formas, (Harlen, 2015):

- Prazer e satisfação em descobrir algo por si próprio;
- Ver como as coisas funcionam em vez de simplesmente ouvir falar;
- Satisfação e ao mesmo tempo estímulo para a curiosidade sobre o mundo que o cerca;
- Desenvolvimento progressivo de ideias cada mais “fortes” (sobre bases do conhecimento) sobre o mundo que o cerca;
- Desenvolvimento de competências necessárias para o “*scientific inquiry*” através da participação nas atividades;
- Perceber que a aprendizagem nas ciências envolve a discussão, trabalho e aprendizagem com outros indivíduos, seja diretamente ou através dos trabalhos que produziram;
- Compreender as ciências como resultado do esforço do ser humano.

2.2.2.4 Dificuldades para implementação do “*Inquiry*”

Apesar das inúmeras investigações, avanços e resultados práticos desde os anos de 1950, os quais mostram as vantagens claras da instrução através de “*inquiry*” quando comparado ao ensino tradicional (focado na memorização de conceitos), ainda há certa resistência à sua implementação em todos os níveis escolares onde ocorre o ensino das ciências.

A resistência à instrução por “*inquiry*” aparece, inclusive, na literatura, onde alguns autores criticam a metodologia (alinhando-se a métodos mais tradicionais) ao afirmarem que esta simplifica processos complexos, como o método científico, além de diminuir o papel do professor, principalmente nas atividades “*hands-on*”, favorecendo a autoinstrução e

aprendizagem superficial por parte dos estudantes, (Mayer, 2004), (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006).

Ao contrário desta linha de raciocínio, Campbell aponta que entre as dificuldades para o desenvolvimento de um ensino e aprendizagem de forma eficaz e significativa está justamente o fato dos professores monopolizarem o direito à investigação, considerando que os estudantes não são capazes de construir soluções para determinados problemas. O autor também observa que muitos professores promovem o diálogo apenas num sentido, do professor para o aluno, não considerando a possibilidade do debate aluno-professor ou aluno-aluno, (Campbell D. R., 2006).

Apesar dos estudantes compreenderem de forma mais aprofundada os conceitos estudados, assim como alguns aspectos da natureza da ciência, quando trabalham com procedimentos que se assemelham aos de um cientista, muitos professores insistem no ensino dito tradicional, onde a preocupação está na apresentação de conceitos e leis com fins de memorização, como se estivessem sendo preparados para um “*quiz show*” (Loucks-Horsley & Olson, 2000).

Há diversos trabalhos onde os investigadores tentam perceber quais as dificuldades para implementação da metodologia de “*inquiry*” no ensino das ciências e tentam achar soluções para tais dificuldades. Um dos fatores investigados é, por exemplo, a dificuldade de autoaprendizagem ou autonomia por parte dos próprios estudantes, (Eckhardt, Urhahne, Conrad, & Harms, 2013). No seu trabalho, de Jong e van Joolingen listam quatro categorias de dificuldades por parte dos estudantes quando submetidos à uma instrução através do “*Scientific Inquiry*”: desenvolvimento consistente de hipóteses, desenvolvimento de experimentos

aplicáveis, interpretação dos dados experimentais e autorregulação da aprendizagem, (de Jong & van Joolingen, 1998).

Outra dificuldade comum para implementação do “*inquiry*” no ensino de ciências, é a falta de conhecimento do professor das rotinas de um cientista, já que o método parte de tal premissa, (Loucks-Horsley & Olson, 2000).

Colburn aponta o que seriam, no seu modo de ver, os principais motivos para o “*Inquiry-Based Learning*” como método de ensino inovador, que promove a autonomia dos estudantes, ainda ser implementado com relativa dificuldade no ensino das ciências na maioria dos países, (Colburn, 2000):

- Confusão sobre o significado de “*inquiry*”;
- A ideia errada de que o método só funciona para estudantes com alta capacidade intelectual;
- O fato dos professores não se sentirem preparados para trabalhar com este tipo de instrução;
- Pelo “*Inquiry*” ser visto como como um método difícil de acompanhar em termos de resultados;
- Pelo “*Inquiry*” ter objetivos mais alargados que os métodos habitualmente aplicados (onde o objetivo principal é apenas promover o aluno ao próximo nível).

Para um ensino e aprendizagem eficaz e significativo das ciências através de “*Inquiry*”, as dificuldades devem ser enfrentadas através de suportes pedagógicos e recursos didáticos que promovam a confiança dos professores e a autonomia dos estudantes, como, por exemplo, o

uso de metodologias de ensino-aprendizagem centradas no estudante, recursos didáticos como o computador e as ferramentas experimentais².

As concepções errôneas sobre a aprendizagem eficaz e significativa através do “*Inquiry-Based Learning*” precisam de ser superadas e abandonadas, já que esta metodologia de ensino caminha em paralelo com os objetivos sociais atuais, ou seja, preparar pessoas ou profissionais mais autônomos que sejam capazes de compreender o mundo em que vivem, obtendo informações de maneira coordenada e aplicando-as com o propósito de resolver problemas.

2.3 Ensino das ciências, “*Inquiry*” vs ensino tradicional – estudos de meta-análise

Nesta seção são apresentados dois importantes estudos de meta-análise que abordam a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” no ensino das ciências, relativamente as suas características e vantagens quando comparado ao método tradicional de ensino. Em ambos os estudos, os autores, com base em critérios pré-definidos, analisaram uma série de publicações que trazem investigações com “*design*” experimental e quase-experimental com resultados estatísticos sobre a aplicação do “*Inquiry*” no ensino das ciências. Estes estudos foram considerados relevantes (e por isso aqui citados) por serem atuais, rigorosos em “*design*” e fornecerem a análise de uma ampla bibliografia sobre o tema, resultando em um conjunto forte e conciso de dados para apoiar o trabalho de investigação apresentado nesta tese.

² Um exemplo de recurso que permite aos estudantes trabalharem na superação de cada uma das quatro dificuldades colocadas por de Jong e van Joolingen é a ferramenta experimental para o ensino de ótica “*Photonics Explorer kit*”, o qual é o objeto desta investigação.

2.3.1 O estudo de meta-análise de Furtak, Seidel, Iverson e Briggs

No ano de 2012 os investigadores Erin Marie Furtak, Tina Seidel, Heidi Iverson e Derek C. Briggs, associados às instituições “*University of Colorado at Boulder*”, “*TUM School of Education*” e “*University of Colorado Denver*”, publicaram no periódico “*Review of Educational Research*” o seu trabalho de meta-análise intitulado “*Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis*”, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

O objetivo do trabalho de investigação foi avaliar os efeitos do “*Inquiry-Based Learning*” no ensino e aprendizagem das ciências entre os anos de 1996 e 2006, nomeadamente após a publicação em 1996 nos Estados Unidos da América do “*National Science Education Standards*”, (National Research Council, National science education standards, 1996).

Os investigadores analisaram 22 publicações que tratavam de 37 experiências sobre a aplicação do “*Inquiry*” no ensino das ciências no nível básico e secundário de vários países, todas com “*design*” experimental ou quase-experimental com resultados estatísticos, mesmo quando tratavam de aspectos cognitivos da aprendizagem. O trabalho de meta-análise foi inovador por distinguir os aspectos cognitivos da instrução por “*Inquiry*” dos aspectos da orientação (procedimentos) dada aos estudantes.

Os estudos selecionados representaram as seguintes áreas e subáreas das ciências: Astronomia, Química, Biologia, Ciências da Terra, Física, Ciências Espaciais, Ciência e Ambiente, Ecologia. Onde, tiveram trabalhos tanto do nível básico como do secundário de 10 países diferentes. Informações mais detalhadas podem ser vistas na tabela 3 do trabalho dos autores do estudo, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

Quanto aos estudos de meta-análise anteriores sobre a aplicação do “*Inquiry*” no ensino das ciências nos níveis básico e secundário, os autores observaram que aqueles realizados na década de 1980 (com nomenclaturas como, “*innovative*”, “*activity based*”, “*process oriented*” e “*discovery oriented*”), podiam ser classificados em duas categorias: aqueles com foco nos ganhos de aprendizagem comparando a instrução/currículo por “*Inquiry*” ao método/currículo tradicional e aqueles que discutiam as diferenças metodológicas entre o “*Inquiry*” e outras metodologias de ensino. Estes estudos apresentavam valores de “*effect size*” que variavam entre 0.06 e 0.35, com a conclusão principal de que quanto maior o grau de instrução através de “*Inquiry*” melhor os resultados de aprendizagem dos estudantes, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

Porém, o estudo de meta-análise feito por Schroeder e colaboradores, o qual revisou, também, estudos com “*design*” experimental e quase-experimental, mas que consideravam métodos de “*Inquiry*” mais centradas no estudante e onde estes respondiam questões através de procedimentos de investigação científica, apresentou “*effect size*” de 0.65, (Schroeder, Scott, Tolson, Huang, & Lee, 2007).

Já o “*Inquiry Synthesis Project*”, que incluiu 138 estudos, inclusive qualitativos, selecionados com base no rigor metodológico, intensidade da aplicação de “*Inquiry*” e impacto da publicação, mostrou que o ensino de ciências através de “*Inquiry*” retornou resultados positivos, principalmente em relação a aprendizagem conceitual, (Minner, Levy, & Century, 2010).

Para realização do estudo de meta-análise, os autores delimitaram domínios para a instrução por “*Inquiry*”, observando que muitas vezes há dificuldade na própria literatura em

de fato compreender ou dimensionar quando uma instrução caracteriza-se como “*Inquiry*”.

Assim, foram considerados dois domínios:

- a) **Domínio cognitivo** – Neste caso, considerou-se a delimitação de domínio do “*Inquiry-Based Teaching*” e “*Inquiry-Based Learning*” de Duschl, o qual foi construído com base nos estudos de psicologia social e cognitiva, história e filosofia da ciência e educação, (Duschl, 2003), (Duschl, 2008):
- **Conceitual** – Trata das estruturas e processos cognitivos que são usados durante o raciocínio científico (por exemplo, o que é necessário e importante aprender).
 - **Epistemológico** – Trata das estruturas que são utilizadas quando o conhecimento científico é desenvolvido e avaliado (como o conhecimento científico é gerado).
 - **Social** – Trata das interações entre os indivíduos participantes do processo de ensino-aprendizagem e como o conhecimento é comunicado, questionado e debatido.

Além das categorias de Duschl, os autores do estudo de meta-análise adicionaram uma quarta, a qual chamaram “*procedural*” (de procedimento), representando os métodos ou procedimentos da descoberta científica (ou heurísticas da descoberta) que caracterizam o caráter “*hands-on*” do “*Inquiry*”: criar questões com fundamentação científica, desenvolver experiências, executar procedimentos e representar os dados obtidos.

- b) **Domínio da orientação** – Representa a dimensão com que as atividades foram guiadas (lideradas ou orientadas), podendo ser visto como o grau de responsabilidade pela aprendizagem que cada sujeito assume, o qual os autores representaram através de uma linha contínua mostrada na figura abaixo:

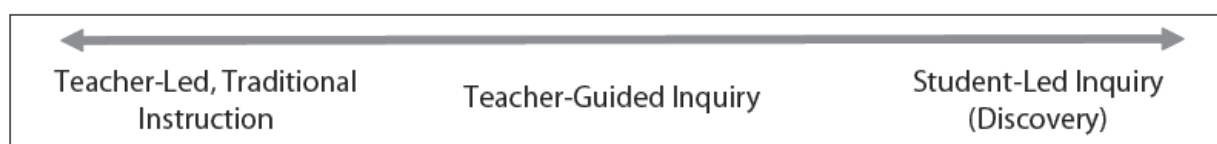


Figura 2-7. Domínio da orientação para a instrução por “*Inquiry*”, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

A extremidade esquerda representa o ensino tradicional, aquela onde de modo geral é o professor que resolve os problemas e dá as respostas. A extremidade direita representa a auto-condução dos procedimentos por parte do estudante para obter resposta para o problema. Já o meio, representa atividades onde o professor assume o papel de orientador, acompanhando de perto uma atividade científica que será realizada pelo estudante, além de discutir com este as respostas encontradas para um determinado problema.

2.3.1.1 Método utilizado no estudo

A seguir são mostrados os procedimentos seguidos pelos autores do estudo para obtenção dos resultados:

- **Área da bibliografia:** Ensino das Ciências.
- **Fontes para busca bibliográfica:** “*Web of Science*” e ERIC.
- **Termos de busca (palavras-chave):** por conta do grande número de nomenclaturas para a instrução por “*inquiry*” no ensino das ciências, os autores utilizaram as palavras-chave do trabalho de meta-análise de Seidel e Shavelson, a saber, “*effective instruction*”, “*instructional effectiveness*”, “*direct instruction*”, “*teacher effectiveness*”, “*mastery learning*”, “*constructivist teaching*”, “*science instruction*”, “*classrooms*”, “*science*

teaching” e *“inquiry”*, cruzadas com palavras-chave *“achievement”*, *“competencies”*, *“interest, motivation”*, *“engagement”* e *“attainment”*, (Seidel & Shavelson, 2007).

- **Crêterios de exclusão:** trabalhos onde o *“design”* não fosse experimental ou quase-experimental, com foco exclusivo em estudantes com défice de rendimento, na educação especial, em estudantes fora do ensino básico ou secundário, e ainda aqueles que não trouxessem métricas para variáveis cognitivas.

A figura a seguir resume todo o processo de seleção feito pelos autores:

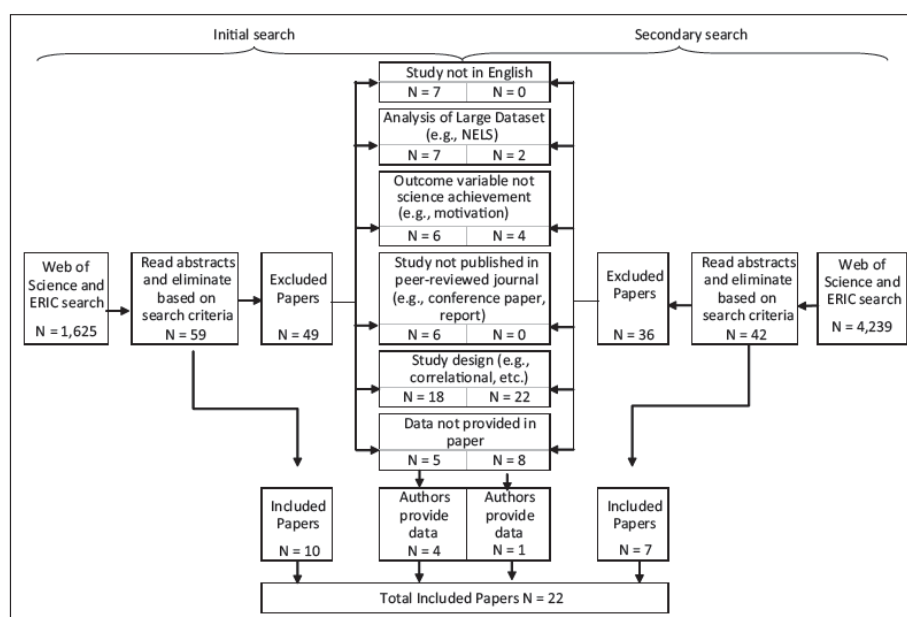


Figura 2-8. Processo de seleção bibliográfica para o estudo de meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

 s vezes um mesmo trabalho trazia mais de uma comparação ou fornecia mais de uma medida de desempenho após uma intervenção, assim, os autores definiram múltiplos contrastes (resultados comparativos), a saber, efeitos do tratamento em diferentes áreas de uma matéria e contrastes que mostraram o efeito de um tratamento através de múltiplas medidas de

desempenho. A partir deste critério, foram obtidos 37 resultados (análises) com base nos 22 estudos selecionados, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

Após recorrer à literatura, os autores criaram o seguinte sistema de classificação para os 37 resultados extraídos dos 22 trabalhos:

| <i>Codes and subcategories</i> | |
|--------------------------------|--|
| Domain of inquiry | Description |
| Procedural | Asking scientifically oriented questions |
| | Experimental design |
| | Executing scientific procedures |
| | Recording data |
| | Representing data |
| Epistemic | Hands-on |
| | Nature of science |
| | Drawing conclusions based on evidence |
| Conceptual | Generating and revising theories |
| | Drawing on/connecting to prior knowledge |
| | Eliciting students' ideas/mental models |
| Social | Providing conceptually oriented feedback |
| | Participating in class discussions |
| | Arguing/debating scientific ideas |
| | Presentations |
| | Working collaboratively |

Figura 2-9. Sistema de classificação para os 37 resultados extraídos dos 22 trabalhos selecionados para a meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

Nos estudos selecionados os autores identificaram quatro tipos de comparação de instrução: “*traditional instruction*” vs “*student-led reform*”, “*traditional instruction*” vs “*teacher-led reform*”, “*student- vs teacher-led*” e “*guidance dimension undefined*” - (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012). Os grupos com instrução por métodos tradicionais foram sempre tratados como controle, e quando comparados métodos mais focados no estudante com métodos mais focados no professor, aqueles focados no estudante foram adotados como de intervenção.

Para o cálculo do “*effect size*”, após considerações sobre modelos estatísticos encontrados na literatura e objetivos da meta-análise, os autores utilizaram uma versão modificada da equação de Morris, (Morris, 2008):

$$ES_{\text{Pre-/Post-Test Two Groups}} = \frac{(\bar{X}_{T_Post} - \bar{X}_{T_Pre}) - (\bar{X}_{C_Post} - \bar{X}_{C_Pre})}{SD_{C_Post}}$$

Figura 2-10. Equação de Morris para cálculo do “effect size” adaptada ao estudo de meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

onde, \bar{X} representa a média, T_Pre e T_Post representa pré e pós-teste do grupo de tratamento, C_Pre e C_Post representa pré e pós-teste do grupo controle, SD_{C_Post} representa o desvio padrão do pós-teste do grupo controle.

2.3.1.2 Resultados do estudo de meta-análise

A média para o “*effect size*” foi de 0.50 ($SD = 0.56$), maior do que a encontrada nos trabalhos de meta-análise anteriores, com exceção do trabalho de Schroeder e colaboradores, o qual foi de 0.65, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012), (Schroeder, Scott, Tolson, Huang, & Lee, 2007). Caso fosse considerado apenas os trabalhos nas áreas de Ciências Físicas, Física e Astronomia, a média para o “*effect size*” seria 0.48. A seguir são apresentados dois gráficos, onde no primeiro os autores mostram a distribuição do “*effect size*” e no segundo a distribuição em função do tamanho da amostra:

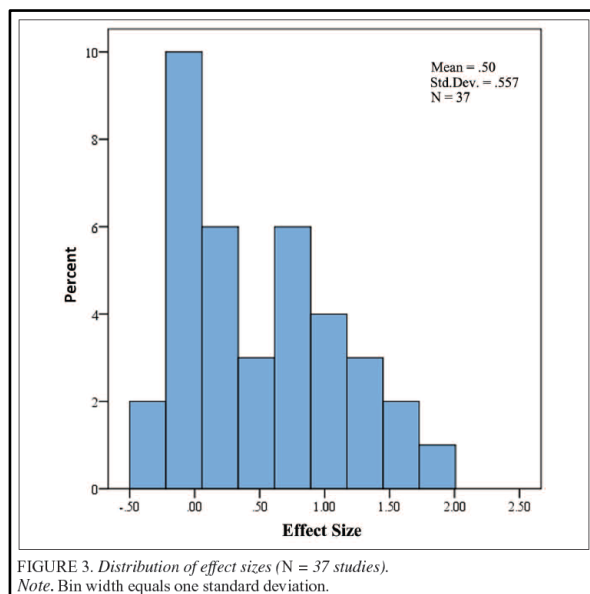


Figura 2-11. Figura onde os autores apresentaram o resultado da distribuição do “effect size” para os estudos avaliados, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

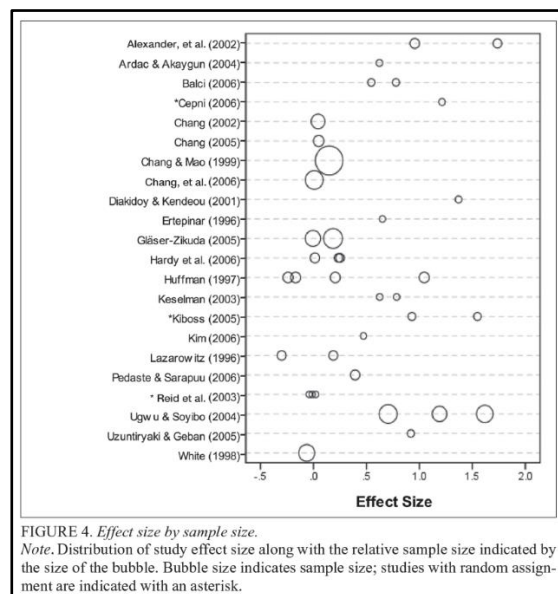


Figura 2-12. Figura onde os autores apresentaram o resultado da distribuição do “effect size” em função do tamanho da amostra, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

Na tabela a seguir é mostrada a distribuição do “effect size” em função das subcategorias definidas para os estudos analisados:

| <i>Mean effect size by model of inquiry contrasted</i> | | | | | | | |
|--|-----------|----------|------|------|-----|------|--------|
| Contrast | N studies | N papers | Min | Max | SD | Mean | Median |
| EC | 3 | 2 | -.04 | 0.63 | .38 | .19 | -.01 |
| S | 8 | 3 | -.30 | 1.05 | .43 | .11 | .09 |
| PECS | 2 | 1 | .24 | 0.25 | .01 | .24 | .24 |
| PES | 6 | 5 | .05 | 1.74 | .61 | .72 | .72 |
| E | 3 | 3 | .55 | 0.92 | .19 | .75 | .79 |

Note: Overall mean effect size = .50 across the 37 studies. Table does not provide mean effect size for studies that did not explicitly study guidance or for which there was only one study in a category. P = procedural; E = epistemic; C = conceptual; S = social.

Figura 2-13. Distribuição do “effect size” em função das subcategorias definidas para os estudos analisados na meta-análise, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

A seguir são mostrados os três últimos resultados publicados pelos investigadores, a média do “effect size” em função da comparação do tipo de instrução, a tabela cruzada para a média do “effect size” considerando a comparação do tipo de orientação e a classificação dos

trabalhos analisados, e finalmente, o gráfico que mostra a distribuição do “*effect size*” em função da comparação do tipo de orientação:

| <i>Effect sizes by guidance contrasted in study</i> | | | | | | |
|---|-----------|------|------|-----|------|--------|
| Guidance | N studies | Min | Max | SD | Mean | Median |
| Student led versus teacher led | 6 | -.04 | 0.04 | .03 | .01 | .01 |
| Traditional versus student-led reform | 5 | -.30 | 0.96 | .45 | .25 | .19 |
| Traditional versus teacher-led reform | 10 | -.01 | 1.74 | .57 | .65 | .60 |

Note. Overall mean effect size = .50 across the 37 studies. Table does not provide mean effect size for studies that did not explicitly study guidance or for which there was only one study in a category.

| <i>Median effect size by guidance and inquiry domain contrast</i> | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------|---------------|------|--------------|--------------|
| Guidance | Inquiry domain contrast | | | | | |
| | None | EC | S | PECS | PES | E |
| Traditional versus student-led reform | | | n = 2 -.06 | | n = 2 .55 | |
| Traditional versus teacher-led reform | | | n = 2 .09 | | n = 4 .80 | n = 2 .73 |
| Student led versus teacher led | n = 3 .02 | n = 2 -.03 | | | | |
| Guidance undefined | n = 10 .86 | | n = 4 .20 | | | |

Figura 2-14. Média do “*effect size*” em função da comparação do tipo de instrução e tabela cruzada para a média do “*effect size*” considerando a comparação do tipo de orientação e a classificação dos trabalhos analisados, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

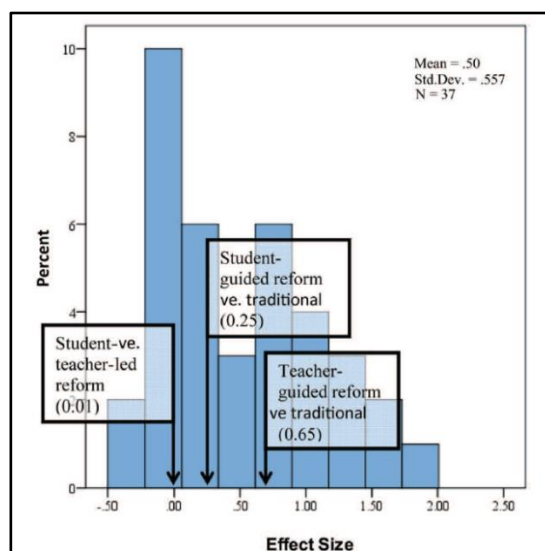


Figura 2-15. Gráfico que mostra a distribuição do “*effect size*” em função da comparação do tipo de orientação, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012).

2.3.1.3 Discussão dos resultados da meta-análise

Os investigadores atribuíram a diferença da média do “*effect size*” obtido no seu estudo de meta-análise com os valores calculados por outros estudos nos anos 80 e por Schroeder e colaboradores, à diferença dos critérios de busca e fontes utilizadas em cada estudo, assim como ao espaço temporal considerado e a restrição espacial (por exemplo, Schroeder e colaboradores consideram apenas os Estados Unidos da América).

Os investigadores também apontaram algumas limitações para o seu estudo, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012):

- Considerou-se apenas trabalhos publicados em revistas ou jornais, não sendo consideradas teses.
- Houve dificuldade de encontrar estudos experimentais e quase-experimentais direcionados ao ensino básico e secundário durante o período definido com tratamento estatístico rigoroso.
- Dependendo da qualidade, o estudo de meta-análise permite uma visão geral (generalização), porém não considerando o contexto individual de cada trabalho analisado.

2.3.1.4 Conclusões do estudo de meta-análise

Após a análise dos resultados obtidos, os autores chegaram as seguintes conclusões, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012):

- Os resultados foram positivos e satisfatórios considerando a aprendizagem dos estudantes em ciências a partir da instrução por “*Inquiry-Based Learning*”.
- Os resultados indicaram que o professor tem um papel importante durante a instrução por “*Inquiry*”.
- O estudo mostrou que para melhores resultados na aprendizagem das ciências através da instrução por “*Inquiry*”, os estudantes devem participar de atividades diversificadas que permitam, por exemplo, criar, implementar e divulgar resultados obtidos a partir de atividades científicas.
- O estudo apontou que ao se implementar a instrução das ciências por “*Inquiry*”, dando importância também para o domínio cognitivo, os resultados da aprendizagem são mais positivos.

- As evidências mostraram que a instrução por “*Inquiry*” com participação direta e eficaz do professor, propicia melhores resultados de aprendizagem do que a instrução na qual o estudante conduz quase que de forma independente todo o processo (autoinstrução), apesar de ambos oferecerem melhores resultados do que o ensino tradicional.

2.3.2 O estudo de meta-análise de Lazonder e Harmsen

Ard W. Lazonder e Ruth Harmsen da “*University of Twente*”, publicaram no ano de 2016 no periódico “*Review of Educational Research*” o trabalho de meta-análise intitulado “*Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance*”, no qual analisaram os resultados de 72 trabalhos com o objetivo de comparar os efeitos na aprendizagem das ciências através dos diferentes tipos de instrução por “*Inquiry*” considerando diferentes idades, (Lazonder & Harmsen, 2016).

O trabalho de meta-análise dos autores fez parte do projeto de investigação intitulado “*Inquiry Learning Support for Children and Adolescents: What Works When and Why?*”, financiado pela “*Netherlands Organization for Scientific Research (NWO)*”.

2.3.2.1 Método utilizado no estudo

O trabalho de meta-análise feito por Lazonder e Harmsen para verificar a evolução e as conclusões sobre a eficiência da instrução por “*Inquiry*” no ensino de ciências, considerando diferentes abordagens e idades dos estudantes, buscou responder três questões, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- a) O que é um método eficiente de “*inquiry*” quando direcionado às atividades de ensino, performance, e outros resultados de aprendizagem?
- b) A eficiência depende do tipo de método de “*inquiry*” implementado?
- c) A eficiência do método de “*inquiry*” depende da idade dos estudantes?

Para responder a estas questões, os investigadores analisaram 1629 trabalhos publicados entre 1993 e 2013 extraídos de importantes bancos de dados e repositórios de conferências, a saber, “*ERIC*”, “*Web of Science*”, “*PsycINFO*”, “*EARLP*” (*European Association for Research on Learning and Instruction*), “*NARST*” (*National Association of Research in Science Teaching*), “*AERA*” (*American Educational Research Association*), dos quais ao final foram selecionados 68 trabalhos com um total de 72 estudos para avaliação, já que 4 destes traziam 2 experimentos com amostras independentes.

Para ser selecionado o trabalho publicado deveria obedecer aos seguintes critérios, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- a) Deveria investigar “*Inquiry*” em Matemática, Física, Química, Biologia ou ciências em geral, considerando estudantes com idade entre 5 e 22 anos.
- b) Deveria comparar um grupo de estudantes que foi submetido ao método de “*Inquiry*” com um grupo o qual não foi submetido.
- c) Os estudantes deveriam ter sido selecionados aleatoriamente.
- d) O estudo deveria descrever os efeitos do método em relação à eficiência, participação, e outras consequências das atividades realizadas, através de estatísticas inferenciais ou descritivas.

As medidas de desempenho avaliadas no estudo de meta-análise foram, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- a) **“*Learning Activities*”** – refere-se ao que os participantes fizeram durante as atividades de “*inquiry*”, relativamente à formulação de hipóteses e modelagem experimental. As informações foram obtidas através das notas experimentais, apresentações orais e escritas, ou ainda através de dados computacionais.
- b) **“*Performance Success*”** – refere-se ao que os estudantes conseguiram alcançar através das atividades de “*inquiry*”, relativamente ao uso correto de conceitos, tarefas corretamente implementadas, etc.
- c) **“*Learning Outcomes*”** – refere-se ao que os estudantes aprenderam durante as intervenções através de “*inquiry*”, medido através de questionários, pré e pós-teste.

Para organizar ainda mais a classificação dos trabalhos quanto as medidas de desempenho, os autores definiram sete moderadores, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- a) **“*Outcome focus*”** – classificava o trabalho em função do objetivo das medidas de desempenho utilizadas. Poderiam ser classificados como: “*LA = Learning Activities*”; “*PS = Performance Success*”; “*LO = Learning Outcomes*”, “*is = inquiry skills*”; “*rs = regulative skills*”; “*dk = domain knowledge*”.
- b) **“*Publication type*”** – classificava cada trabalho de acordo com o tipo de publicação, o qual poderia ser: “*journal article*”, “*conference paper*” ou “*dissertation*”.
- c) **“*Domain*”** – referia-se a área na qual tinha sido feita a intervenção através de “*inquiry*”.

Após a classificação foram usadas as seguintes generalizações: Ciências (para Física, Química e Biologia) e Matemática (para aritmética, geometria e álgebra).

- d) “*Study’s design*” – classificou o estudo com “*design*” aleatório ou quase-experimental.
- e) “*Duration*” – classificação para o tempo de intervenção do “*inquiry*”, o qual podia ser única sessão (20 a 100 minutos) ou múltipla sessão (com intervalo de no máximo 1 semana).
- f) “*Type of guidance*” – Classificação definida pelos autores (a qual pode ser vista na figura a seguir) para o tipo de instrução por “*inquiry*” utilizada no trabalho analisado. Esta classificação foi baseada no trabalho de T. De Jong e Lazonder (Figura 2-16), (De Jong & Lazonder, 2014).
- g) “*Age group*” – Classificação para a idade dos participantes: “*children*” (5 a 12 anos), “*teenagers*” (12 a 15 anos) e “*adolescents*” (15 a 22 anos).

| <i>Typology of inquiry learning guidance</i> | | |
|--|--|--|
| Type of support | Basic idea | Intended audience |
| Process constraints | Restrict the comprehensiveness of the learning task | Learners who are able to perform and regulate the basic inquiry process, but still lack the experience to do so under more demanding circumstances |
| Status overviews | Make task progress or learning visible | Learners who are able to perform the basic inquiry process, but lack the skills to plan and keep track of their learning trajectory |
| Prompts | Remind to perform an action | Learners who are able to perform an action but may not do so on their own initiative |
| Heuristics | Remind to perform an action and suggest how to perform that action | Learners who do not know exactly when and how an action should be performed |
| Scaffolds | Explain or take over the more demanding parts of an action | Learners who do not have the proficiency to perform an action themselves or cannot perform the action from memory |
| Explanations | Specify exactly how to perform an action | Learners who are (largely) incognizant of the action and how it should be performed |

Note. Based on T. De Jong and Lazonder (2014), with minor textual modifications.

Figura 2-16. Classificação para o tipo de instrução por “*inquiry*” que aparecia no trabalho.

A concordância das avaliações realizadas nos estudos avaliados quanto a atividades de aprendizagem, sucesso no desempenho e efeitos da aprendizagem, foram consideradas altas, com κ de Cohen igual a 0.91. Já a concordância para o “*type of guidance*”, “*age group*” e

“*outcome focus*”, também consideradas altas, foram 0.83, 0.91, 0.91, respectivamente, (Lazonder & Harmsen, 2016).

O “*effect size*” (indicado pela letra d) para cada medida de desempenho foi calculado a partir da diferença entre a média do grupo de tratamento e controle dividido pelo desvio padrão combinado. Quando o desvio padrão não foi citado no estudo, o “*effect size*” foi calculado a partir de estatísticas inferenciais (t , χ^2 , e F). Este procedimento também foi utilizado para a medida de desempenho “*Learning Outcomes*”, exceto quando os resultados foram calculados como ganho para compensar diferenças iniciais entre os grupos de tratamento. Quando os estudos forneciam os dados do pré e pós-teste, o ganho e o desvio padrão foi calculado através da fórmula fornecida por Lipsey e Wilson, (Lipsey & Wilson, 2001). Quando os estudos não forneciam o ganho ou a diferença entre o pré e pós-teste, os autores usaram a média do pós-teste e seu desvio padrão para o cálculo do “*effect size*”. Para grupos com amostras pequenas os autores usaram o método de Hedges e Olkin para estimar o “*effect size*”, (Hedges & Olkin, 1985).

Quando se considerou múltiplas comparações para múltiplas medidas de um mesmo estudo, os autores usaram o método de Borenstein, Hedges, Higgins e Rothstein, (Borenstein, Hedges, Higgins, & Rothstein, 2009). Para estudos que incluíam múltiplos subgrupos independentes, as estatísticas foram recalculadas para cada subgrupo para então ser calculado o “*effect size*”, (Lazonder & Harmsen, 2016).

Outros ajustes e considerações estatísticas foram feitas durante a análise dos estudos pelos autores, porém não serão descritas aqui, sabendo que isto não interfere ou atrapalha a

compreensão do texto deste capítulo o qual resume os procedimentos e resultados alcançados a partir do estudo de meta-análise.

2.3.2.2 Resultados do estudo de meta-análise

Após as considerações estatísticas feitas pelos autores, para a medida de desempenho “*Learning Activities*” os resultados obtidos são mostrados na figura abaixo:

| <i>Summary of effect sizes for learning activities</i> | | | | | | | | |
|--|----------|----------|-----------|---------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>k</i> | <i>d</i> | <i>SE</i> | 95% CI | <i>Q_b</i> | <i>df_q</i> | <i>p_q</i> | <i>I²</i> |
| Overall | 20 | 0.66 | .11 | [0.44, 0.88] | | | | |
| Outcome focus | | | | | 1.49 | 1 | .223 | 32.98 |
| Inquiry skills | 16 | 0.73 | .12 | [0.48, 0.97] | | | | |
| Regulative skills | 4 | 0.39 | .25 | [-0.10, 0.87] | | | | |
| Publication type | | | | | 0.94 | 2 | .624 | 0.00 |
| Journal article (IF ≥ 1.5) | 14 | 0.61 | .13 | [0.35, 0.88] | | | | |
| Journal article (IF < 1.5) | 5 | 0.70 | .22 | [0.26, 1.16] | | | | |
| Dissertation | 1 | 1.13 | .52 | [0.10, 2.15] | | | | |
| Study design | | | | | 0.00 | 1 | .973 | 0.00 |
| Randomized experiment | 12 | 0.66 | .15 | [0.36, 0.96] | | | | |
| Quasi-experiment | 8 | 0.66 | .17 | [0.32, 1.01] | | | | |
| Duration | | | | | 0.80 | 1 | .372 | 0.00 |
| Single session | 15 | 0.71 | .12 | [0.46, 0.95] | | | | |
| Multiple sessions | 5 | 0.46 | .25 | [-0.03, 0.95] | | | | |
| Type of guidance | | | | | 4.01 | 5 | .547 | 0.00 |
| Process constraints | 4 | 0.90 | .23 | [0.45, 1.35] | | | | |
| Status overviews | 2 | 0.29 | .32 | [-0.33, 0.91] | | | | |
| Prompts | 2 | 0.51 | .29 | [-0.05, 1.07] | | | | |
| Heuristics | 1 | 0.24 | .41 | [-0.56, 1.04] | | | | |
| Scaffolds | 6 | 0.77 | .23 | [0.31, 1.22] | | | | |
| Explanations | 5 | 0.70 | .19 | [0.34, 1.07] | | | | |

Note. *N* = 2,374.

Figura 2-17. Resultados obtidos no estudo de meta-análise para a medida de desempenho “*Learning Activities*”, (Lazonder & Harmsen, 2016).

Onde:

k – representa o número de trabalhos onde aparece a medida de desempenho.

d – representa o “*effect size*”.

SE – representa o erro padrão.

95% CI – representa o intervalo de confiança a 95% para o “*effect size*”.

Q_b – Teste Q (semelhante ao “*one-way ANOVA*”) para verificar se a variância foi significativa.

I^2 – Reflete o quanto da variância reflete no “*score*” verdadeiro.

A partir dos dados os autores observaram que, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- A significância do “*overall effect size*” (tamanho do efeito geral) foi calculada através do teste z, o qual teve resultado de $z = 5,85$, $p < 0,001$, demonstrando o efeito significativo da orientação (*guidance*) sobre a métrica “*learning activities*” (o que os participantes fizeram durante as atividades de “*inquiry*”, relativamente à formulação de hipóteses e modelagem experimental) com melhores resultados para atividades de “*inquiry*” orientadas (*inquiry skills*) do que para as não orientadas (*regulative skills*). Além, disso o intervalo de [0.44; 0.88] para o “*effect size*”, na nomenclatura de Cohen pode ser considerado de médio a grande, (Cohen, 2013).
- Considerando o que foi calculado para os trabalhos avaliados, o indicador de Rosenthal N estima que pelo menos 1419 trabalhos com “*effect size*” igual a zero deveriam ser adicionados à amostra para fazer com que o nível de significância do “*overall effect size*” ultrapassasse a significância de 0.05, (Rosenthal, 1979).
- Considerando os moderadores definidos pelos autores, concluiu-se que não houve diferenças estatisticamente significativas.

Após as considerações estatísticas feitas pelos autores, para a medida de desempenho “*Performance Success*” os resultados obtidos são mostrados na figura abaixo:

| Summary of effect sizes for performance success | | | | | | | | |
|---|----------|----------|-----------|---------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>k</i> | <i>d</i> | <i>SE</i> | 95% CI | <i>Q_b</i> | <i>df_q</i> | <i>p_q</i> | <i>I²</i> |
| Overall | 17 | 0.71 | .10 | [0.52, 0.90] | | | | |
| Publication type | | | | | 2.19 | 1 | .139 | 54.33 |
| Journal article (IF ≥ 1.5) | 10 | 0.59 | .12 | [0.36, 0.82] | | | | |
| Journal article (IF < 1.5) | 7 | 0.86 | .14 | [0.59, 1.12] | | | | |
| Study design | | | | | 5.91 | 1 | .015 | 83.08 |
| Randomized experiment | 8 | 0.94 | .13 | [0.68, 1.19] | | | | |
| Quasi-experiment | 9 | 0.54 | .10 | [0.34, 0.74] | | | | |
| Duration | | | | | 0.74 | 1 | .390 | 0.00 |
| Single session | 9 | 0.64 | .12 | [0.40, 0.88] | | | | |
| Multiple sessions | 8 | 0.80 | .14 | [0.52, 1.08] | | | | |
| Type of guidance | | | | | 14.34 | 5 | .014 | 65.13 |
| Process constraints | 4 | 0.71 | .14 | [0.43, 0.99] | | | | |
| Status overviews | 2 | 0.22 | .20 | [-0.18, 0.61] | | | | |
| Prompts | 3 | 0.50 | .14 | [0.23, 0.76] | | | | |
| Heuristics | 1 | 1.17 | .34 | [0.50, 1.84] | | | | |
| Scaffolds | 6 | 0.80 | .13 | [0.55, 1.05] | | | | |
| Explanations | 1 | 1.45 | .37 | [0.72, 2.18] | | | | |

Note. *N* = 1,019.

Figura 2-18. Resultados obtidos no estudo de meta-análise para a medida de desempenho “*Performance Success*”, (Lazonder & Harmsen, 2016).

A partir dos dados os autores observaram que, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- O “*overall effect size*” (tamanho do efeito geral) calculado mostra que os resultados dos estudantes que receberam uma instrução por “*inquiry*” superaram os que não receberam por mais da metade de um desvio padrão, onde $z = 7.30$, $p < 0.001$. Segundo a nomenclatura de Cohen o intervalo de [0.52, 0.90] para o “*effect size*” pode ser considerado de médio a grande, (Cohen, 2013).
- Considerando o que foi calculado para os trabalhos avaliados, o indicador de Rosenthal *N* estima que pelo menos 753 trabalhos com “*effect size*” igual a zero deveriam ser adicionados à amostra para que o “*overall effect size*” não fosse estatisticamente significativo, (Rosenthal, 1979).

- Quanto a análise dos moderadores, os autores constataram que o “*effect size*” para as experiências com “*design*” aleatório foi quase duas vezes maior do que o medido para as experiências com “*design*” quase-experimental.
- O índice I^2 mostrou que mais de 80% das variâncias no “*effect size*” dos estudos reflete a variação verdadeira da medida.
- Os resultados mostraram ainda que o tipo de orientação por “*inquiry*” chamada de “*explanations*” foi mais efetiva do que outras orientações combinadas.
- Considerando a idade dos participantes, todos os tipos de orientação tiveram efeitos positivos em todas as categorias.

Após as considerações estatísticas feitas pelos autores, para a medida de desempenho “*Learning Outcomes*” os resultados obtidos são mostrados na figura abaixo:

| | <i>k</i> | <i>d</i> | <i>SE</i> | 95% CI | <i>Q_b</i> | <i>df_q</i> | <i>p_q</i> | <i>I²</i> |
|----------------------------|----------|----------|-----------|---------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Overall | 60 | 0.50 | .06 | [0.37, 0.62] | | | | |
| Outcome focus | | | | | 9.43 | 1 | .002 | 89.39 |
| Inquiry skills | 18 | 0.78 | .11 | [0.56, 1.00] | | | | |
| Domain knowledge | 42 | 0.37 | .07 | [0.23, 0.52] | | | | |
| Publication type | | | | | 8.42 | 3 | .036 | 64.37 |
| Journal article (IF ≥ 1.5) | 32 | 0.65 | .09 | [0.48, 0.82] | | | | |
| Journal article (IF < 1.5) | 16 | 0.38 | .12 | [0.14, 0.62] | | | | |
| Conference paper | 9 | 0.18 | .15 | [-0.11, 0.48] | | | | |
| Dissertation | 3 | 0.45 | .28 | [-0.10, 1.01] | | | | |
| Domain | | | | | 1.13 | 1 | .288 | 11.50 |
| Math | 5 | 0.28 | .22 | [-0.15, 0.71] | | | | |
| Science | 55 | 0.52 | .07 | [0.39, 0.66] | | | | |
| Study design | | | | | 0.79 | 1 | .376 | 0.00 |
| Randomized experiment | 33 | 0.55 | .09 | [0.38, 0.73] | | | | |
| Quasi-experiment | 27 | 0.44 | .10 | [0.25, 0.62] | | | | |
| Duration | | | | | 2.23 | 1 | .136 | 55.16 |
| Single session | 36 | 0.42 | .08 | [0.25, 0.58] | | | | |
| Multiple sessions | 24 | 0.61 | .10 | [0.42, 0.81] | | | | |
| Type of guidance | | | | | 4.05 | 5 | .542 | 0.00 |
| Process constraints | 4 | 0.52 | .25 | [0.03, 1.01] | | | | |
| Status overviews | 2 | 0.61 | .35 | [-0.09, 1.30] | | | | |
| Prompts | 8 | 0.55 | .18 | [0.19, 0.91] | | | | |
| Heuristics | 2 | 0.22 | .34 | [-0.44, 0.88] | | | | |
| Scaffolds | 19 | 0.34 | .12 | [0.11, 0.56] | | | | |
| Explanations | 25 | 0.61 | .10 | [0.42, 0.80] | | | | |

Note. *N* = 5,629.

Figura 2-19. Resultados obtidos no estudo de meta-análise para a medida de desempenho “*Learning Outcomes*”, (Lazonder & Harmsen, 2016).

A partir dos dados os autores observaram que, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- O “*Overall effect size*” mostrou que a instrução por “*inquiry*” teve efeito positivo e significativo na aprendizagem dos conteúdos por parte dos estudantes. Segundo a nomenclatura de Cohen o intervalo de [0.37, 0.62] para o “*effect size*” pode ser considerado médio, (Cohen, 2013).
- Considerando o que foi calculado para os trabalhos avaliados, o indicador de Rosenthal N estima que pelo menos 6379 trabalhos com “*effect size*” igual a zero deveriam ser adicionados à amostra para que o “*overall effect size*” não fosse estatisticamente significativo.
- Quanto ao efeito moderador “*outcome focus*”, a média para o “*effect size*” calculado para as habilidades de investigação (*inquiry skills*) foi mais do que o dobro do calculado para o domínio do conhecimento (*domain knowledge*).
- Considerando o tipo de orientação (*guidance*) não houve diferença significativa para o “*effect size*” para variável métrica “*learning outcomes*”.
- As análises também mostraram que considerando a idade não houve diferenças, ou seja, todos se beneficiaram de igual modo de alguma instrução por “*inquiry*”.

2.3.2.3 Discussão dos resultados da meta-análise

Os resultados do trabalho de meta-análise de Lazonder e Harmsen mostraram que a instrução das ciências através de “*Inquiry*” propiciaram resultados positivos e significativos quanto às atividades de aprendizagem, desenvolvimento de habilidades de investigação e domínio do conhecimento que foi estudado, (Lazonder & Harmsen, 2016). Os autores mostram que este resultado confirma outros estudos que avaliaram a instrução através de “*Inquiry*”, tanto

comparando-a com outras metodologias de ensino, como verificando sua aplicação em casos especiais como a instrução por computador através de simulações (por exemplo, (Alfieri, Brooks, Aldrich, & Tenenbaum, 2011), (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012), (Carolan, Hutchins, Wickens, & Cumming, 2014), (D'Angelo, Rutstein, & Harris, 2014)).

Após uma avaliação de estudos publicados (em números e relevância), os resultados observados pelos autores são importantes por generalizar as afirmações anteriores sobre a instrução por “*Inquiry*” às diferentes idades, áreas das ciências e matemática e tipos de instrução por “*Inquiry*”. Em relação a este último, inclusive, os dados observados por Lazonder e Harmsen não permitiram concluir que uma forma de aplicação de “*inquiry*” é melhor do que outra, já que as análises do “*effect size*” não mostraram diferenças significativas quando considerado este fator. Ou seja, ao contrário do que defendem outros autores como Kirschner e colaboradores, (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006), os dados do estudo de meta-análise mostram que não é um tipo específico de “*inquiry*” aplicado por um longo tempo que vai retornar resultados mais significativos de aprendizagem e nem caracterizar a instrução por “*inquiry*” como mais ou menos “forte”. Porém, os autores também observam que apesar disso os objetivos da instrução por “*inquiry*” devem ser observados para a escolha do método e como este será implementado, por exemplo, se a finalidade da instrução é melhorar a performance dos estudantes para um exame nacional (Lazonder & Harmsen, 2016).

Quanto aos moderadores, os autores constataram que estes não causaram impacto sobre o “*effect size*” das três variáveis métricas analisadas³. Quanto ao foco da instrução por “*inquiry*” dos estudos avaliados, os autores observaram que houve maior impacto no desenvolvimento

³ É interessante observar o fato de que os trabalhos de ensino de matemática representavam apenas 7% dos trabalhos avaliados no estudo de meta-análise.

das habilidades de investigação do que nos resultados de domínio do conhecimento. Porém, os mesmos observam que tal resultado pode ser por conta dos objetivos dos trabalhos investigados, que passavam mais pelo desenvolvimento de habilidades do que pelo domínio do conhecimento, (Lazonder & Harmsen, 2016).

Os dados da investigação considerando o tempo de intervenção, o qual não mostrou influência significativa sobre as médias do “*effect size*”, desmistificou a ideia de que os impactos da instrução por “*inquiry*” só podem ser percebidos após intervenções a longo prazo.

O trabalho de meta-análise também apontou para a importância de compreender que apesar dos resultados positivos em pequenas ou longas sessões de “*inquiry*”, o professor tem um papel importante na orientação dos estudantes durante as atividades para que os resultados positivos sejam alcançados, observando que a orientação por “*inquiry*” implementada, também deve dar liberdade para que o estudante possa desenvolver diferentes competências e habilidades inerentes às práticas científicas. Deste modo, segundo os autores, a instrução por “*inquiry*”, além de ajudar na aprendizagem das ciências, também irá estimular os jovens estudantes a escolher e seguir carreiras nas áreas das ciências ou matemática, (Lazonder & Harmsen, 2016).

Os autores apontaram algumas limitações para o seu trabalho de meta-análise, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- O baixo número de trabalhos que consideravam as variáveis métricas “*learning activities*” e “*performance success*”.

- A análise de múltiplos moderadores no mesmo e pequeno grupo de estudos. Por conta disso, os autores utilizaram técnicas estatísticas para reduzir erros, além de apresentarem o máximo de dados possíveis para que, caso necessário, um investigador possa analisar cada trabalho dentro do seu contexto.
- Os trabalhos analisados foram limitados às áreas de ensino das ciências e matemática, deixando de fora o ensino de tecnologia e engenharia. Apesar disso, os autores defendem que as generalizações podem ser feitas para o contexto da chamada “*STEM education*” (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) como um todo.

2.3.2.4 Conclusões do estudo de meta-análise

Após a análise dos resultados obtidos, os autores chegaram as seguintes conclusões, (Lazonder & Harmsen, 2016):

- A orientação (*guidance*) é fundamental para o sucesso da instrução por “*Inquiry-Based Learning*”, levando os estudantes a alcançarem melhores resultados quanto a realização das atividades e rotinas necessárias para tal, assim como na performance nos testes de conhecimento.
- Os benefícios independem do tipo de orientação por “*inquiry*” implementada. Apesar disso, há a tendência de que o desempenho dos estudantes tende a aumentar quanto mais orientada for a instrução.
- No ensino das ciências e matemática, os benefícios da instrução por “*inquiry*” independem da idade dos estudantes, permitindo aos professores o desenvolvimento e implementação de um grande número de atividades que envolvam os estudantes através de “*Inquiry-Based Learning*”.

2.4 “*Photonics Explorer*”

Esta seção apresenta na primeira parte o percurso de desenvolvimento e as partes que compõem o “*Photonics Explorer*”, o qual constitui o nosso instrumento pedagógico. Já a segunda parte, apresenta os detalhes e resultados dos estudos existentes na literatura sobre a sua utilização. Ambas as partes foram importantes para perceber os propósitos de criação desta ferramenta para o ensino de ótica e as justificativas teóricas envolvidas no seu desenvolvimento, características indispensáveis para a compreensão da sua avaliação, quer nesta investigação ou em investigações futuras.

2.4.1 Desenvolvimento e composição do “*Photonics Explorer*”

Em março de 2010 a Comissão Europeia financiou com 550 mil Euros⁴ o projeto “EXPEKT” do qual resultou o “*Photonics Explorer*”, ferramenta experimental que tem como objetivo permitir aos jovens estudantes do Ensino Básico e Secundário (originalmente designados por *Low Secondary Level* e *High Secondary Level*) aprender ótica utilizando o método científico e deste modo encorajá-los a seguir carreiras em áreas de ciências e engenharias, designadas vulgarmente por áreas CTEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), (CORDIS, 2010), (Eyest, 2017), (Prasad, et al., 2012), (Prasad & Debaes, 2013). Segundo Prasad et al., (Prasad A. , et al., 2012), o “*Photonics Explorer kit*” é:

“...a novel, intra-curricular, educational kit designed to **engage, excite and educate** students about the fascination of working with light and optics hands-on, within the classroom”, (Prasad A. , et al., 2012, p. 2).

⁴ Sendo 507.842,00 Euros para a Vrije Universiteit Brussel (Bélgica) e 42.158,00 Euros para o Leibniz Institute for Science and Mathematics Education (Alemanha), (Up2Europe, 2017).

Em tradução livre:

“...um novo “kit” educacional e curricular, projetado para engajar, estimular e educar os estudantes acerca do fascínio de trabalhar ativamente com luz e ótica na sala de aula”.

A figura a seguir mostra o “kit” experimental “*Photonics Explorer*”:



Figura 2-20. “*Photonics Explorer kit*”, (CORDIS, 2010).

O “*Photonics Explorer*” foi desenvolvido com base em princípios teóricos do Construtivismo e da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” (IBL), onde de acordo com as principais premissas os professores são muito mais do que transmissores de informações a serem memorizadas e os estudantes mais do que simples absorvedores, (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012), (Fischer, 2011). O propósito do “kit” é permitir que os estudantes aprendam trabalhando com um espírito parecido ao dos cientistas e engenheiros, não apenas observando procedimentos experimentais e repetindo-os, mas pondo em prática o método científico, desde a formulação de hipóteses, planejamento e implementação das experiências (*hands-on*), até a

apresentação formal dos resultados. Este “*framework*” pedagógico é diferente da maioria dos recursos didáticos experimentais, que muitas vezes são baseados em atividades que geram efeitos visuais para entreter os estudantes, (Prasad A. , et al., 2012). Em relação ao “*Photonics Explorer*”, Fischer observa que:

“The didactic framework of the Photonics Explorer aims at teaching students not merely about science, but they are encouraged to experience how to do science. It makes a great difference to hear how someone else found out something long time ago, or to make this discovery yourself. Going beyond the mere presentation of scientific facts, the educational approach aims at teaching and fostering important skills, like scientific reasoning, the critical evaluation of results and the discussion of the potential impact of technologies”, (Fischer, 2011, p. 5).

Em tradução livre:

“A estrutura didática do “Photonics Explorer” visa não somente ensinar ciências aos estudantes, mas encorajá-los a experimentar como fazer ciência. Ele possibilita experimentar a grande diferença entre ouvir sobre como alguém descobriu algo há muito tempo atrás e descobri-lo você mesmo. Indo além de uma mera apresentação de fatos científicos, a abordagem educacional visa ensinar e promover habilidades importantes, como o raciocínio científico, avaliação crítica de resultados e discussão de potenciais efeitos das tecnologias”.

As figuras a seguir mostram alguns estudantes realizando trabalhos em sala de aula utilizando o “*Photonics Explorer*”, onde os próprios estudantes discutem o problema, montam o aparato experimental, buscam e apresentam conclusões razoáveis (trabalho “*hands-on*”) apoiados por roteiros de exploração construídos com base na metodologia de “*Inquiry*”:



Figura 2-21. Estudantes realizam atividade "hands-on" com o "Photonics Explorer", (Eyest, 2017).



Figura 2-22. Estudantes trabalham com os filtros de cor do "Photonics Explorer", onde aprendem através de princípios de "Inquiry-Based Learning", (Eyest, 2017).

Os componentes que fazem parte do “*Photonics Explorer kit*” foram desenvolvidos para permitir que os estudantes pudessem trabalhar em grupo (até 10 grupos em simultâneo), manipulá-los e usá-los com segurança em sala de aula, e para que o professor pudesse facilmente adaptá-los as suas necessidades pedagógicas ou realidade da escola, (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012), (Prasad A. , et al., 2012), (Fischer, 2011).

Para o desenvolvimento dos módulos (abordagem de conteúdos) de ótica que compõem o “*kit*” foram feitas consultas⁵ a professores de ciências, especialistas em educação, além de profissionais da área de formação de professores dos seguintes países: Bélgica, República Checa, Finlândia, França, Alemanha, Itália, Polônia, Portugal, Espanha e Reino Unido, os quais representavam 83% dos estudantes do Ensino Secundário da União Europeia em 2008, (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013). Foi utilizado um questionário para consulta a estes profissionais, onde a primeira parte tratava da estrutura do sistema educacional nacional e a segunda do tempo disponibilizado para temas de ótica e fotônica no ensino local, (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013).

Os resultados das consultas mostraram que a ótica é ensinada tanto no Ensino Básico como no Secundário. No primeiro, são ensinados os princípios da ótica geométrica (modelo de raios para representação da luz, lentes, reflexão, refração, etc.) e no segundo, a luz como onda (difração, interferência, polarização, etc.). Feito isto, selecionou-se um grupo de 35 professores e especialistas em pedagogia de 11 países da União Europeia (*Educational Advisory Panel – EAP*), para os quais foi dado 16 temas, 8 do Básico e 8 do Secundário, para que escolhessem em ordem os temas que gostariam que fossem trabalhados no “*Photonics Explorer*”. Entre os mais votados, foram escolhidos 4 para o Ensino Básico (12-14 anos) e 4 para o Ensino Secundário (16-18 anos), (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013).

Após escolhidos, foram produzidos a primeira versão dos módulos, onde estes foram enviados novamente para os especialistas para que fizessem então a primeira revisão, fornecendo em seguida o “*feedback*” para a equipe de desenvolvimento. Feitas as modificações, o processo repetiu-se, sendo que ao final de pelo menos duas revisões foi produzida a versão

⁵ As referências bibliográficas consultadas não deixam claro a data exata em que foi realizado este trabalho.

final do módulo para testes, (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013), (CORDIS, 2010).

Após os trabalhos realizados, os módulos⁶ implementados (inclusive atualmente) no “*Photonics Explorer*” são mostrados na tabela a seguir, (CORDIS, 2010):

Tabela 2-4. Módulos implementados no “*Photonics Explorer*”.

| ENSINO BÁSICO | | |
|--|--|--|
| MÓDULOS | REVISORES | COMPONENTES⁷ |
| Sinais luminosos – Propriedades da luz e o uso em telecomunicações. | <ul style="list-style-type: none"> • Stuart Farmer – Reino Unido • Heinrich Strietz – Alemanha • Marc van der Schmidt – Alemanha • Gunnar Friege – Alemanha • Maria Calvo – Espanha | <ul style="list-style-type: none"> • Fibra ótica • Módulos LED • Espelhos |
| Cores – Percepção das cores, adição das cores. | <ul style="list-style-type: none"> • Veronika Bratzel – Alemanha • Pascal Daman – Luxemburgo • Cristina Palici di Suni – Itália • Antoni Haraburda – Polônia | <ul style="list-style-type: none"> • Módulos LED • Filtros de cor |

⁶ Informações mais detalhadas sobre os temas abordados nos módulos do “*Photonics Explorer*” são apresentadas no capítulo 3 (Metodologia), seção 3.3, tabelas 3-2 e 3-3.

⁷ As informações sobre os componentes experimentais do “*Photonics Explorer*” são mostradas na próxima tabela.

| Lentes e telescópios – Refração e imagem. | <ul style="list-style-type: none"> • Guy Bourie – França • Tom Van Lier – Bélgica • Dobromila Szczepaniak – Polônia • Alberto García Barriuso – Espanha | <ul style="list-style-type: none"> • Fibra ótica • Módulos LED • Espelhos • Lentes |
|--|--|--|
| Olho e visão – Comparação entre o olho humano e uma câmera digital. | <ul style="list-style-type: none"> • Praveen Ashok – Reino Unido • Michel Detambel – França • Ilona Mirtcheva – Bulgária • Małgorzata Bak – Polônia • Małgorzata Kajser Stysiak – Polônia | <ul style="list-style-type: none"> • Módulos LED • Lentes |
| ENSINO SECUNDÁRIO | | |
| MÓDULOS | REVISORES | COMPONENTES |
| Produzindo luz – Comparar diferentes tipos de luz. | <ul style="list-style-type: none"> • Alfons Moreno – Espanha • Denis Dumora – França • Tsviatko Popov – Bulgária • Georg Gubik – Bélgica | <ul style="list-style-type: none"> • Grades de difração • Módulos LED • Módulo Laser |
| Polarização – Aplicações tecnológicas e científicas. | <ul style="list-style-type: none"> • Rainer Müller – Alemanha • Gunnar Friege – Alemanha • Rob Auckland – Reino Unido | <ul style="list-style-type: none"> • Polarizadores • Módulo Laser |

| | | |
|---|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Henri Eisendrath – Bélgica | |
| Difração e interferência – Difração em uma fenda, espectrometria. | <ul style="list-style-type: none"> • Ewa Debowska – Polônia • Andreas Konrad – Alemanha • Sibylle Driemel – Bélgica • Aleksandra Podolska-Strycharska – Polônia | <ul style="list-style-type: none"> • Grades de difração • Módulo Laser |
| Trabalho de um cientista – Mostrar como é o trabalho de um cientista e encorajar, principalmente mulheres, a seguir carreiras nas ciências e engenharias. | <ul style="list-style-type: none"> • Elly van Hiel – Bélgica • Laurence Maurines – França | – |

Cada um dos módulos permite a adaptação pelo professor a condições estruturais e pedagógicas de uma turma (por exemplo, tempo de implementação) ou mesmo a abordagem apenas de temas específicos. O material de apoio impresso do “*Photonics Explorer*” é composto por. (CORDIS, 2010):

- a) **Fichas de trabalho (1 a 3 páginas)** – usadas pelos estudantes durante as atividades, são baseadas em técnicas de “*guided-inquiry based learning*”, onde os estudantes são instigados a pensar e discutir sobre o problema e tentar alcançar conclusões razoáveis. No início há um texto para motivar a realização dos experimentos e aquisição dos conhecimentos de Física envolvidos. Em seguida vem a parte experimental (*hands-on experiments*), onde há liberdade para que os estudantes projetem suas experiências e relatem suas conclusões, ou seja, não seguem um roteiro tradicional onde passos devem ser seguidos e reproduzidos.

- b) **Ficha de informação (1 página)** – com descrição de conceitos, equações, leis, imagens, entre outras formulações teóricas da Física, são entregues aos estudantes ao fim da lição. Também relacionam a teoria com a prática, mostrando exemplos de aplicações tecnológicas. Foram projetadas para focarem apenas os principais conceitos, permitindo assim que a maior parte do tempo seja para as experiências.
- c) **Notas para o professor (5 a 11 páginas)** – fornecem para os professores uma descrição completa das atividades como, por exemplo, sequência e tempo. Além disso, também discute conceitos teóricos importantes e possíveis perguntas que podem ser feitas pelos estudantes.

Quanto às características dos experimentos do “*Photonics Explorer*” e dos materiais de apoio (que incluem recursos multimídia como fotos e vídeos) Prasad et al., observam:

“Worksheets are designed so that students to encourage students to do, observe and reason. Students work in small groups to design their own experimental setups, observe physical effects and then discuss the observed phenomenon, its origin/cause and how such an effect could be useful. They can then directly relate this optical effect to current technologies they encounter in their daily life”, (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013, p. 3).

Em tradução livre:

“As fichas de trabalho são projetadas para encorajar os estudantes a fazer, observar e raciocinar. Os estudantes trabalham em pequenos grupos para projetar suas próprias experiências, observar efeitos físicos e então discutir os fenômenos observados, verificando origem, causa e como este efeito poderia ser útil. Eles podem então relacionar este efeito óptico com tecnologias atuais que encontram no seu dia-a-dia”.

O “*Photonics Explorer*” foi projetado para ser utilizado em uma turma de até 30 estudantes, com grupos de trabalho de 2 a 3 elementos⁸, número que foi definido através de observações e estudos na área de ensino, (CORDIS, 2010). Além disso, tanto a composição como a distribuição do “*kit*” para escolas são financiados por empresas e instituições públicas e privadas que investem no ensino de ciências.

As figuras 2-23 e 2-24 assinalam, respetivamente, os locais dos chamados “*Local Associated Partners*” (associados e respetivas instituições que promovem a distribuição dos “*kits*” e asseguram a formação dos professores das escolas) em toda a Europa, bem como as escolas que já se beneficiaram da entrega de um “*kit*”.

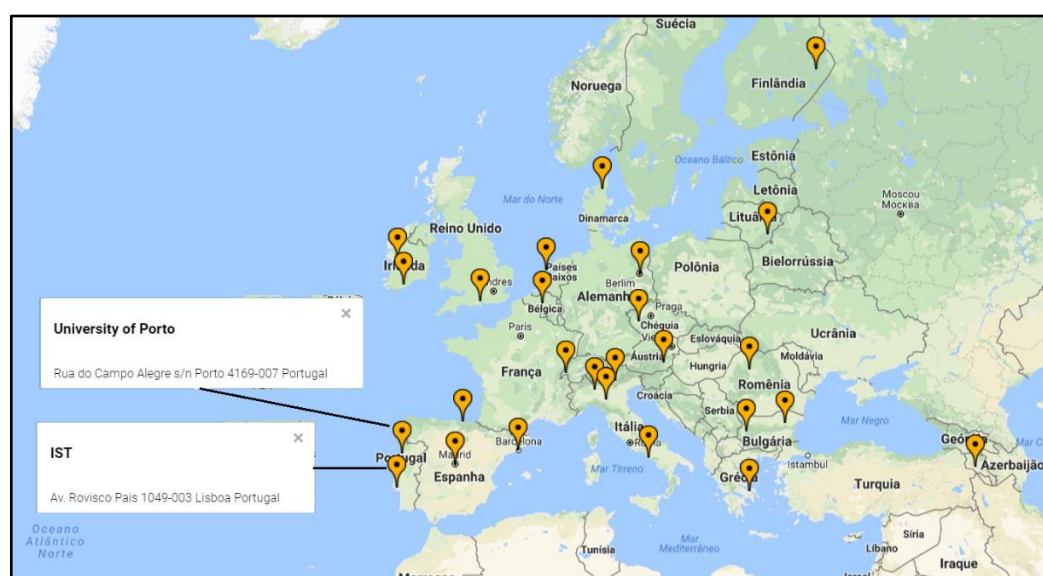


Figura 2-23. Localização de algumas instituições públicas e privadas que patrocinam a distribuição do “*Photonics Explorer*”, (Eyest, 2017).

⁸ Nesta investigação, se sugeriu para atividades onde os estudantes tinham de escrever relatórios e posteriormente divulgá-los, grupos de 4 elementos, para evitar o excesso de repetição de informações.

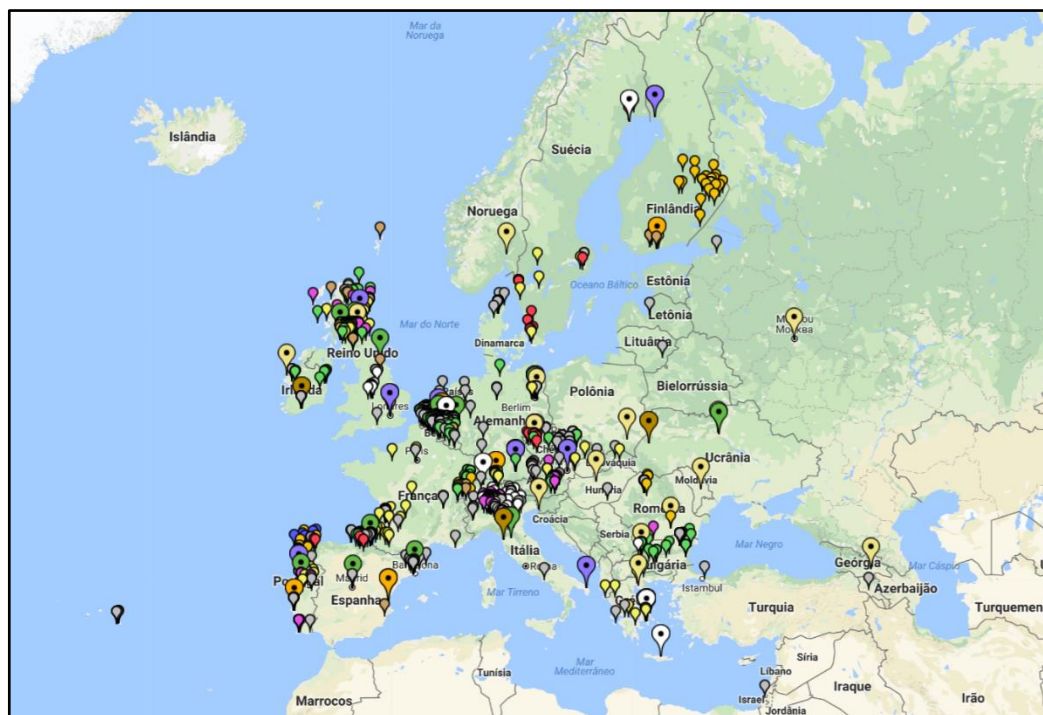



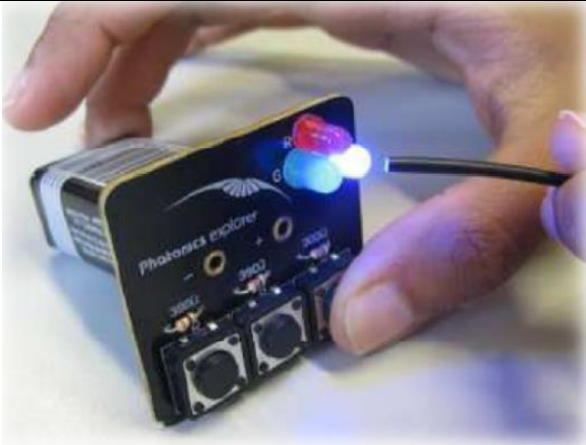
Figura 2-24. Localização de algumas instituições que receberam gratuitamente o "*Photonics Explorer*", (Eyest, 2017).



O material experimental que compõe o “*kit*” é mostrado na tabela a seguir:


Tabela 2-5. Tabela com os componentes do "*Photonics Explorer*", (CORDIS, 2010).

| COMPONENTES | PROCEDÊNCIA ⁹ | MODO DE AQUISIÇÃO ⁹ | IMAGEM DO COMPONENTE |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--|
| 10 espelhos de alumínio 7x7 cm | Alanod, Alemanha | Patrocinado |  |

⁹ Dados do relatório final do projeto Expekt (01 de março de 2010 à 31 de agosto de 2012). Não foram encontradas informações atualizadas.

| | | | |
|---|--------------------|-------------|--|
| 10 conjuntos de filtros de cor (7x4 cm) com as cores vermelho, verde, azul ciano, magenta e amarelo | Rosko, Reino Unido | Patrocinado |  |
| 10 módulos de LED com as cores vermelho, verde e azul | YES Led, Hong Kong | Comprado |  |

| | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------|--|
| <p>10 conjuntos de lentes com distâncias focais: -30 mm, 30 mm e 150 mm</p> | <p>Lensel Optics Pvt. Ltd, Índia</p> | <p>Comprado</p> |  |
| <p>20 polarizadores (7x5 cm)</p> | <p>Nitto Denko, República Checa</p> | <p>Patrocinado</p> |  |

| | | | |
|---------------------------|--------------------|--------------|--|
| 5m de cabo de fibra ótica | Luceat, Itália | Patrocinador |  |
| 10 apontadores laser | YES Led, Hong Kong | Comprado |  |

| | | | |
|--|---|---------------------------------|--|
| <p>10 redes de difração de 1000 linhas/mm</p> | <p>Rainbow Symphony Inc., Estados Unidos da América</p> | <p>Comprado</p> |  |
| <p>10 lâminas de fenda simples e dupla para experimentos de difração</p> | <p>Lasertype, Alemanha</p> | <p>Parcialmente patrocinado</p> |  |

2.4.2 Testes com o “*Photonics Explorer*”

Observações feitas pelos autores em um teste piloto com 6 turmas da Alemanha e 5 turmas da Bélgica, mostraram que as diversas possibilidades de realização de experimentos a partir do “*Photonics Explorer*” apoiado pela metodologia IBL, teve impacto positivo¹⁰ entre professores e estudantes, (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012). A figura 2-25 mostra uma das atividades realizadas no teste piloto realizado:



Figura 2-25. Imagem do teste piloto realizado, onde os próprios estudantes realizam experimentos “hands-on” com o “*Photonics Explorer*”, (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012).

O primeiro estudo feito pelas equipes de desenvolvimento sobre o impacto do “*Photonics Explorer*” ocorreu entre setembro e dezembro de 2011, onde 50 protótipos do “kit” foram utilizados por 1500 estudantes de 7 países da União Europeia: Bélgica, Bulgária, França, Alemanha, Polônia, Espanha e Reino Unido, sendo que a implementação de cada módulo foi observada em pelo menos 2 turmas de cada país, (Prasad & Debaes, 2013), (Prasad A. , Debaes,

¹⁰ As conclusões encontradas na literatura sobre este estudo são quase que exclusivamente qualitativas.

Fischer, & Thienpont, 2013), (CORDIS, 2010). O IPN (*Leibniz Institute for Science and Mathematics Education*) sediado em Kiel na Alemanha, foi o responsável pelo acompanhamento dos professores e estudantes e posteriores apresentações dos resultados obtidos¹¹, (IPN, 2017).

Os resultados quantitativos e qualitativos foram obtidos para 427 estudantes de 25 turmas dos 7 países. Os resultados quantitativos foram obtidos através de questionários enquanto os resultados qualitativos foram obtidos através de entrevistas com os professores e estudantes, onde o “*design*” utilizado foi “*pre-post-follow-up design*”. O pré-teste foi aplicado antes do começo dos trabalhos com o “*Photonics Explorer*”, o pós-teste após o final do último módulo e o teste de acompanhamento (*follow-up teste*) passados 3 ou 4 meses, (Debaes, et al., 2013).

Os resultados qualitativos mostraram que os experimentos do “*Photonics Explorer*” foram bem recebidos pelos professores e estudantes para os objetivos de aprendizagem estabelecidos. Além disso, também houve a compreensão satisfatória do material de apoio disponível no “*kit*”. Quanto a este, a maioria dos professores concordou, se necessário, com a possibilidade de fazer pequenas mudanças direcionadas aos estudantes. Segundo os autores do estudo, mesmo aqueles professores com apenas 1 hora de aula por semana conseguiram realizar os experimentos de forma satisfatória, (Debaes, et al., 2013).

Neste estudo, os estudantes mostraram-se muito mais entusiasmados com as experiências “*hands-on*”, principalmente quando se tratava do uso de equipamentos mais modernos como os “*lasers*”. Os professores também relataram estarem impressionados pelo aumento da compreensão conceitual da ótica por parte dos estudantes, (Debaes, et al., 2013).

¹¹ Os resultados obtidos foram divulgados na literatura apenas qualitativamente.

As observações e os dados quantitativos mostraram que o “*Photonics Explorer*” mesmo quando implementado com a metodologia de IBL a um nível moderado, propiciava a autonomia dos estudantes e o aumento do interesse pela Física, principalmente entre as meninas e todos aqueles com desempenho de avaliação considerado médios, (Debaes, et al., 2013), (Prasad A. , et al., 2012), (Prasad & Debaes, 2013).

Além disso, para os autores, o “*Photonics Explorer*” mostrou-se uma boa ferramenta não somente para ensinar tópicos de ótica, mas também para encorajar os professores a ensinarem utilizando a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” (IBL), (Debaes, et al., 2013).

Porém, também é observado que para os trabalhos com ferramentas deste gênero (baseadas em IBL) poderem ser implementados com resultados significativos, os currículos, materiais, e procedimentos instrucionais devem ser centrados no estudante, (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012).

O estudo com os 1500 estudantes dos 7 países da União Europeia permitiu concluir que o “*Inquiry-Based Learning*” no ensino da Física era pouco utilizado quando comparado a métodos centrados no professor, (Debaes, et al., 2013):

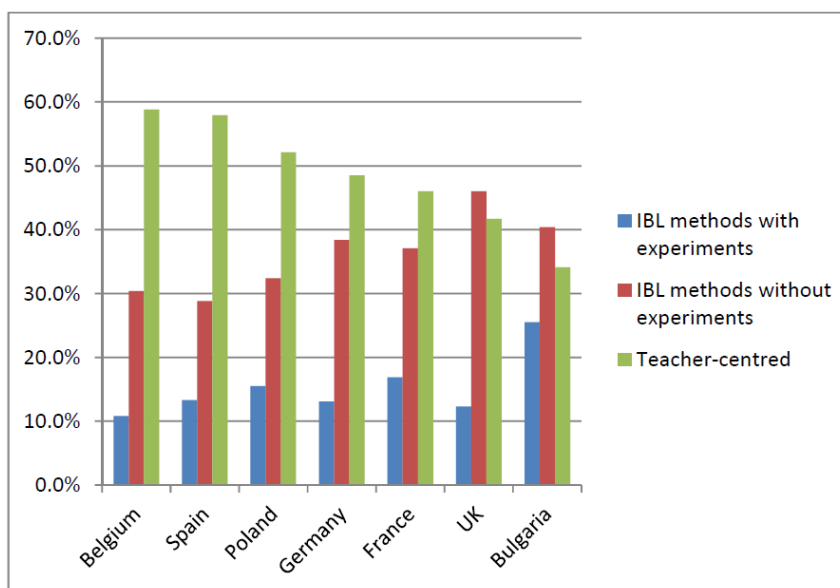


Figura 2-26. “Inquiry-Based Learning” comparado aos métodos centrados no professor nos países onde o “*Photonics Explorer*” foi inicialmente testado, (Debaes, et al., 2013).

Assim, os resultados deste primeiro estudo sobre o impacto do “*Photonics Explorer*” são resumidos na tabela a seguir:

Tabela 2-6. Resumo dos resultados do primeiro estudo sobre o impacto do “*Photonics Explorer*” no interesse dos estudantes pela Física (ótica), (Debaes, et al., 2013).

| | |
|----------------------------|--|
| <p>Qualitativos</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O “<i>Photonics Explorer</i>” foi aceito com entusiasmo por professores e estudantes. • Os textos de apoio presentes no “<i>kit</i>” foram facilmente compreendidos por professores e estudantes. • Os professores concordaram que caso fosse necessário, fariam mudanças mínimas nos textos destinados aos estudantes. • Professores com pelo menos 1 hora de aula por semana conseguiram implementar os experimentos do “<i>kit</i>”. |
|----------------------------|--|

| | |
|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Os estudantes gostaram de trabalhar em pequenos grupos onde realizavam eles próprios os processos experimentais do “<i>kit</i>”. • A maioria dos professores observou que após trabalhar com o “<i>kit</i>” os estudantes melhoraram o seu entendimento teórico sobre tópicos da ótica. |
| <p style="text-align: center;">Quantitativos</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A implementação do “<i>Photonics Explorer</i>” mostrou bons resultados a curto prazo em relação a autonomia e aumento do interesse dos estudantes. • A proporção de “<i>Inquiry-Based Learning</i>”, utilizada nas experiências do “<i>kit</i>” aplicadas em sala de aula, foi proporcional ao aumento da autonomia e do interesse por parte dos estudantes, assim como, na melhoria das concepções sobre a Física. • O interesse inicial dos estudantes pela Física e pelo “<i>Photonics Explorer</i>”, estava diretamente relacionado com a quantidade de instrução que receberam utilizando técnicas de “<i>Inquiry-Based Learning</i>”. • Em todos os grupos de estudantes o interesse pela Física aumentou, porém, de forma mais significativa nos grupos que anteriormente só haviam recebido baixa ou média instrução baseada em técnicas de “<i>Inquiry-Based Learning</i>”, |

| | |
|--|--|
| | <p>sendo maior nos grupos com instrução em IBL considerada média.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antes da utilização do “<i>kit</i>”, a separação por gênero não mostrou diferenças em relação ao interesse pela Física. • Após a utilização do “<i>Photonics Explorer</i>”, os estudantes de sexo masculino aumentaram o interesse pelas aulas de Física, enquanto do sexo feminino aumentaram a autonomia. |
|--|--|

Quanto a conclusão do estudo, Prasad et al. destacam:

“The field tests show extremely positive results with teachers and students alike favoring the content and the material. First results of the scientific evaluation of impact also shows that working with the kit indeed increases the self-efficacy of students and in particular, it has positive impact in those classrooms with minimal to moderate Inquiry Based Learning techniques. Thus, the Photonics Explorer aims to improve the image of science among young people, encourage them to pursue scientific and technological careers to raise the next generation of skilled workforce”. (Prasad A. , et al., 2012, p. 7).

Em tradução livre:

“Os testes de campo mostraram resultados extremamente positivos com professores e estudantes sendo favoráveis ao conteúdo e ao material. Os primeiros resultados da avaliação científica do impacto também mostraram que o trabalho com o “kit” efetivamente aumenta a autoeficácia dos estudantes e em particular, tem impacto positivo nas salas de aula com técnicas de ensino por “Inquiry” de mínimo a moderado. Isto é, o “Photonics Explorer” visa melhorar a imagem da ciência entre os jovens, incentivá-los a seguir carreiras científicas e tecnológicas para aumentar a próxima geração de mão-de-obra qualificada”.

Para Fischer:

“...these hands-on experiments are more than just haptic exercises. Worksheets guide the students step by step from the motivation to the inquiry, the observation, the measurement and the critical interpretation of the results. The teacher can thus concentrate on giving individual support to the groups instead of explaining each step at the blackboard. To show the students how the observed physical effect relates to their personal life, the experiments are set into an interesting context”, (Fischer, 2011, p. 6).

Em tradução livre:

“...estes experimentos “hands-on” são mais que do que somente exercícios hápticos. As fichas de trabalho orientam os estudantes passo-a-passo através da motivação pelo questionamento, observação, medidas e interpretação dos resultados. O professor, pode, portanto, concentrar-se em dar apoio individual aos grupos em vez de explicar cada passo na lousa. Para mostrar aos estudantes como o efeito físico se relaciona com suas próprias vidas, as experiências são feitas dentro de um contexto interessante”.

Ainda segundo o autor, o “*Photonics Explorer*” não é uma ferramenta que milagrosamente promete resolver todos os problemas do ensino de ótica no nível Básico e Secundário, mas já é um bom começo para ajudar os professores a obterem melhoras significativas, (Fischer, 2011).

3 Metodologia

3.1 Delineamento da investigação

3.1.1 Classificação da investigação

Entre os diversos caminhos metodológicos para implementação da investigação, foi escolhido aquele com características experimentais. A decisão considerou fatores fundamentais de uma pesquisa científica, a saber, o objeto de estudo, os resultados esperados e o possível controle de variáveis. A maior dificuldade encontrada para escolha da metodologia foi o fato do cenário de estudo ter incluído seres humanos, sugerindo, portanto, a possibilidade de deparar-se com complexidades tais como fatores psicológicos, sociais e históricos difíceis de balizar. Por conta e ainda considerando essencial a adoção de características experimentais, a investigação seguiu os parâmetros metodológicos de um estudo quase-experimental.

A fim de evitar dificuldades posteriores (principalmente na interpretação dos dados) os mecanismos metodológicos da investigação foram adotados com cuidado para não permitir (tanto quanto possível) que fatores subjetivos, como, por exemplo, opiniões pessoais dos investigadores, interferissem na condução dos trabalhos.

De acordo com Gil (Gil, 2010), a investigação de caráter experimental não precisa ser executada necessariamente em laboratório, podendo ser desenvolvida em qualquer lugar, desde que apresente as seguintes características:

- a) **Manipulação:** o investigador precisa manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados;

- b) **Controle:** o investigador precisa introduzir um ou mais fatores de controle na situação experimental;
- c) **Distribuição aleatória:** a designação dos elementos da investigação deve ser feita aleatoriamente.

Considerando que o último dos pressupostos anteriores não foi rigidamente seguido, a investigação pode ser classificada como **quase-experimental** (Campbell & Stanley, 1979) com **delineamento de grupo-controle não equivalente**, com aplicação de técnicas essencialmente quantitativas (Saha & Dworkin, 2009).

Apesar das próximas seções descreverem de forma mais ampla os aspectos sequenciais e operacionais da investigação, a tabela a seguir fornece uma visão simplificada:

Tabela 3-1. Tabela com informações dos aspectos sequenciais e operacionais da investigação.

| | |
|--|---|
| Área do conhecimento | Grande área: Multidisciplinar. Áreas: Educação; Ensino de Ciências. Subárea: Ensino de Física |
| Finalidade | Pesquisa básica estratégica: Pesquisa voltada para a aquisição de conhecimentos direcionados a amplas áreas, com vista à resolução de reconhecidos problemas práticos. |
| Objetivo quanto ao tipo de investigação | Investigação exploratória: O objetivo principal foi proporcionar maior familiaridade com o problema, possibilitando a formulação de hipóteses para explicá-lo a partir dos resultados obtidos. |
| Métodos empregados | Metodologia: Quase-experimental (controle parcial de variáveis) com delineamento de grupo-controle não equivalente. Natureza dos dados: Quantitativa. |

| | |
|--|--|
| | Ambiente de coleta: Pesquisa de campo (escolas públicas do grande Porto e zonas limítrofes). |
| Ambientes de investigação | <ul style="list-style-type: none"> • Escolas públicas da região do Grande Porto, Portugal; • Sala de aula na escola para a realização dos trabalhos experimentais; • Laboratório de ciências na escola com mobília adequada e equipamentos laboratoriais Básicos; • Laboratório de investigação na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para compilação e análise dos dados. |
| Dados principais | <p>Teste com 13 questões conceituais de múltipla escolha sobre conteúdos curriculares de ótica do Ensino Básico em Portugal – o teste foi produzido para abordar temas de ótica do Ensino Básico e que seriam trabalhados durante a intervenção experimental, (Anexo 2 – teste de ótica). Além disso, teve-se o cuidado de escolher temas para as questões que seriam trabalhados no programa de Físico-Química do 8º ano do Ensino Básico (ano escolar de intervenção). As respostas dadas pelos estudantes dos grupos experimental e controle (8.2.2.1) foram compiladas para análise através de técnicas estatísticas.</p> |
| Dados complementares | <p>Registros em vídeos e fotos das atividades realizadas – serviu para apoiar análises qualitativas da investigação. Estes dados facilitaram as explicações relacionadas a fatores técnicos e pedagógicos de implementação, tais como, a execução das atividades pelos estudantes, estrutura dos experimentos, etc.</p> |
| Análise e interpretação dos dados | <p>Para o estudo estatístico dos dados obtidos se utilizou o “<i>software</i>” IBM SPSS <i>Statistics</i>. A ferramenta computacional foi útil para a organização dos dados, processamento estatístico e criação de gráficos e tabelas para análise de resultados. Foram utilizadas técnicas da estatística descritiva e inferencial, onde os dados foram registrados na forma de histogramas, tabelas e gráficos. Cálculos de média, desvio padrão, erros, testes de</p> |

| | |
|--|---|
| | normalidade de distribuições, testes para comparação de médias, entre outros, foram realizados para se extrair o máximo de informações. |
|--|---|

3.1.2 Variáveis da investigação

Apoiando-se na metodologia de uma investigação de carácter experimental, começou-se por definir um objetivo principal de estudo, que neste caso foi o impacto da ferramenta “*Photonics Explorer*” apoiada pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*” (Eyest, 2017), sendo esta aplicada no formato de clube de ciências com o propósito de apoio e complementariedade ao ensino tradicional da ótica no Ensino Básico. Os sujeitos participantes¹² foram professores e estudantes do 8º ano do Ensino Básico de escolas públicas do norte de Portugal. Quanto aos resultados, esperava-se a consolidação da aprendizagem dos conteúdos curriculares de ótica refletidos no desenvolvimento de habilidades para a resolução de problemas práticos e conceituais, num grau superior ao obtido através de uma abordagem dita tradicional. As variáveis da investigação são mostradas na figura a seguir:

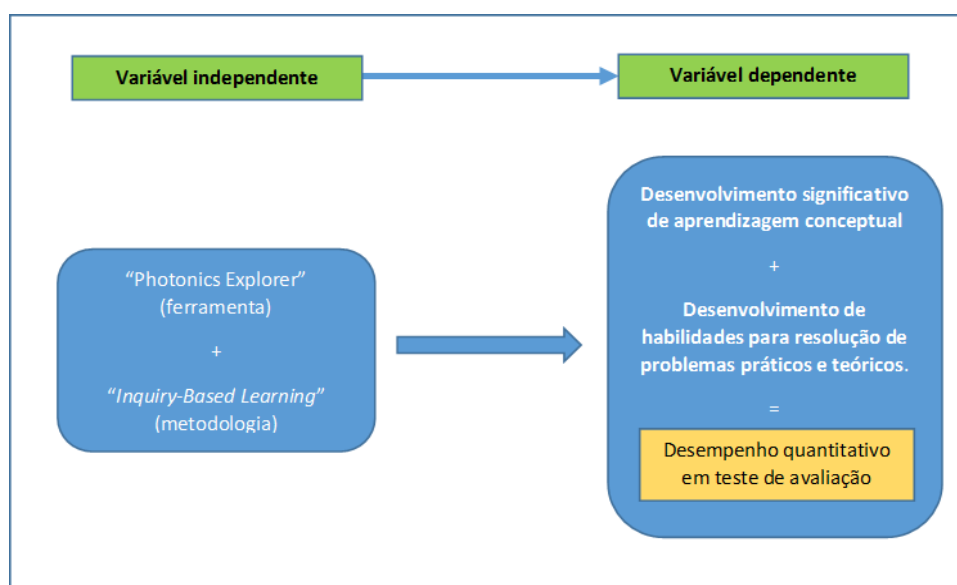


Figura 3-1. Variáveis da investigação.

¹² Os sujeitos da investigação serão melhor explicados na subseção a seguir.

3.2 Sujeitos da investigação - amostra

Para o desenvolvimento da investigação no que diz respeito à implementação e recolha dos dados, o Universo inquirido foi inicialmente delimitado aos alunos do 8º ano do Ensino Básico (3º ciclo), (DGE, 2017), de 24 escolas do ensino público do norte de Portugal. Os professores dessas escolas participaram na formação “Haja Luz nas Escolas”, (AIL2015, 2017), ministrada no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Admitindo-se que em média, cada escola tinha a seu cargo cerca de 20 estudantes para este estudo, então o universo inicial perfazia um total de 480 estudantes. A amostra alvo inicial estimada era de pelo menos 10 estudantes de cada uma das 24 escolas, perfazendo um total 240 estudantes (50% do Universo).

Para delimitação da amostra alvo considerou-se a indicação para implementação do “*kit Photonics Explorer*”, a saber atividades criadas para os níveis de Ensino Básico e Secundário (Eyest, 2017). Além deste critério, nesta investigação, a delimitação foi reduzida a estudantes do ensino público, pelo entendimento de que estes sofrem mais com a escassez de recursos materiais mais “robustos”, tais como financiamentos para compra de materiais instrucionais e laboratórios atualizados, entre outros fatores. O grupo de investigação considerou tais condições como interessantes (com base também na pretensão para trabalhos futuros) para a apreciação dos efeitos da aplicação de uma nova ferramenta experimental apoiada por uma metodologia diferente da tradicional.

A ideia inicial era utilizar as atividades do “*kit Photonics Explorer*” em aulas convencionais, inclusive do ensino secundário, mas muitos professores relataram em conversa com o grupo de investigação, ao final da formação da qual participaram, dificuldades para implementar as atividades nas aulas convencionais em suas escolas, sendo posto como principais:

receio de implementar metodologias diferentes daquelas adotadas pelos colegas, receio de aceitação por parte dos alunos, receio de fraco aproveitamento por parte dos alunos resultando em críticas das direções escolares (principalmente no secundário, já que estas ocorreriam em ano de exames nacionais), horários muito preenchidos, entre outros fatores que geralmente dificultam a implementação de novas ferramentas e metodologias. Ainda por conta disso, não houve receptividade por parte dos professores em usar de imediato as atividades do “*kit*” em turmas inteiras, pelo menos não antes de algumas atividades para adaptação, por considerarem que estariam a forçar os alunos a uma prática nova por eles ainda desconhecida. Deste modo, decidimos por implementar as atividades no formato de Clube de Ciências como complemento do ensino tradicional em sala de aula com alunos voluntários, tendo assim uma amostra de conveniência limitada a 4 escolas e 60 estudantes do Ensino Básico do Porto e zonas limítrofes, representando em relação ao Universo 16,7% e 12,5%, para escolas e estudantes, respectivamente.

Levando-se em conta as características qualitativas pretendidas para os sujeitos, considerou-se a amostra, embora menor que a esperada, aceitável porque mantinha as características previamente pretendidas neste estudo: as 4 escolas eram públicas, pertenciam ao Norte de Portugal, todos os professores que implementaram o “*Photonics Explorer*” na forma de Clube de Ciências participaram da formação¹³ “Haja Luz nas Escolas”, e todos os alunos participantes neste estudo eram do 8º ano (3º ciclo).

Um dos pontos que poderia eventualmente gerar controvérsias em relação a uma amostra menor que a esperada era o fato desta limitar-se à cidade do Porto, pois tratando-se da maior cidade da região Norte (e segunda maior de Portugal), poderia significar diferenças sociais e culturais significativas entre os sujeitos. No entanto, os critérios qualitativos pré-definidos para estes não

¹³ Detalhes sobre a formação “Haja Luz nas Escolas” serão apresentados na próxima subseção (Variável Independente).

foram extensos, limitando-se a considerar apenas estudantes com idade regular para o 8º ano (13 anos), (DGE, 2017), e de escolas públicas do Norte do país.

O número de participantes do sexo masculino foi igual a 41 (68,3%) e do sexo feminino igual a 19 (31,7%). Não foi dada importância ao sexo dos participantes, já que nos objetivos da investigação não foi considerado este fator como delineador para estudo dos resultados.

Dos 60 estudantes da amostra, 30 inscreveram-se para participação no projeto “*Photonics Explorer*”, implementado nas escolas na modalidade de clube de ciências (constituindo, assim, uma amostra de conveniência) durante os anos letivos 2015/2016 e 2016/2017, com encontros realizados uma vez por semana e com tempo médio compreendido entre 1h e 1,5h.

3.3 Atividades e elementos componentes da variável independente

3.3.1 Treinamento sobre o “*Photonics Explorer*” – Bruxelas

Como início dos trabalhos com a ferramenta “*Photonics Explorer*”, participei de treinamento na cidade de Bruxelas, Bélgica, em março de 2015. Ao todo participaram 13 professores de três países diferentes, Alemanha, Brasil (1) e Portugal (1). As atividades foram ministradas durante dois dias no espaço para divulgação da ciência chamado “*Atomium*”, tendo sido conduzidos por uma equipe da “*Vrije Universiteit Brussel*”, (B-PHOT), e financiados pela “*Eyest_{vzw}*” (*Excite Youth for Engineering, Science and Technology*), organização sem fins lucrativos que desenvolve programas educacionais para melhorar o ensino de ciências e matemática e estimular jovens estudantes a seguirem carreiras nas áreas de ciências, engenharias e tecnologias, (atomium, 2017), (VUB, 2017), (B-PHOT, 2017), (Eyest, 2017).

O treinamento realizado em Bruxelas foi uma das etapas do projeto para a União Europeia intitulado “*LIGHT 2015 – PHOTONICS – DISCOVER THE POWER OF LIGHT*” que fez parte

das ações desenvolvidas para o Ano Internacional da Luz (IYL2015) apoiadas pela UNESCO, (IYL2015, 2017).

Nos trabalhos realizados nesta etapa inicial pôde-se conhecer, discutir e implementar com outros professores as atividades do “kit” experimental “*Photonics Explorer*” direcionadas ao Ensino Básico e Secundário. As figuras a seguir mostram o centro de divulgação da ciência onde o treinamento foi realizado, além de algumas das atividades implementadas:



Figura 3-2. “Atomium”, espaço para divulgação da ciência em Bruxelas, Bélgica.



Figura 3-3. Treinamento sobre o “*Photonics Explorer*”.



Figura 3-4. Professores durante treinamento, onde realizam e discutem as experiências do “*Photonics Explorer*”.



Figura 3-5. Professores apresentam experiência para os demais colegas, onde discutem e sugerem possíveis abordagens.

3.3.2 Execução das experiências do “*Photonics Explorer*” em laboratório da FCUP

Esta etapa foi realizada no laboratório de Didática da Física do Departamento de Física e Astronomia da Universidade do Porto. Os módulos do “*Photonics Explorer*” foram minuciosamente estudados a nível prático e explorados a nível teórico, a saber através de uma exploração inicial e debate conceitual sobre os conteúdos do kit e a abordagem didática pretendida, seguida pela realização das experiências e estudo dos conceitos físicos e pedagógicos envolvidos.

Apesar da investigação ser direcionada ao nível Básico de ensino, as experiências do nível Secundário também foram exploradas, já que de modo geral todos os módulos dos dois níveis estão conceitualmente interligados, seja por dependência, seja por complementariedade a nível de complexidade.

A preparação e análise das atividades experimentais permitiu um aprofundamento conceptual e empírico em cada uma delas, possibilitando, por exemplo, perceber quais materiais não acompanhavam o “*kit*” experimental e que eram necessários à realização das experiências. Com isso foi possível organizar planilhas com sugestões que não interferissem na originalidade da matriz inicialmente proposta, mas que a completassem com sugestões práticas. Estas foram acrescentadas nos manuais em língua portuguesa que posteriormente foram utilizados pelos estudantes e professores participantes do estudo.

Entre as sugestões, se pode citar como exemplo, a utilização de molas para apoio de anteparos, ampliação de figuras presentes nos textos, utilização de objetos facilmente encontrados, como por exemplo, chaves de parafusos, tesoura de papel, fita cola, etc. Em uma das experiências sobre polarização, onde se deveria utilizar solução de açúcar dissolvido em água para obter

medidas para preenchimento da tabela de dados, sugeriu-se utilizar, também, outras soluções como leite dissolvido em água.

As figuras a seguir mostram algumas das atividades realizadas no laboratório do Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto:

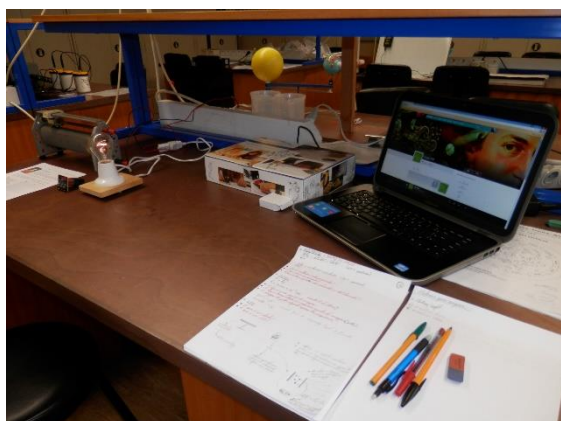


Figura 3-6. Estudo de um dos módulos do "Photonics Explorer".



Figura 3-7. Experiência de polarização com materiais do "kit" e outros sugeridos pelo grupo de investigação.

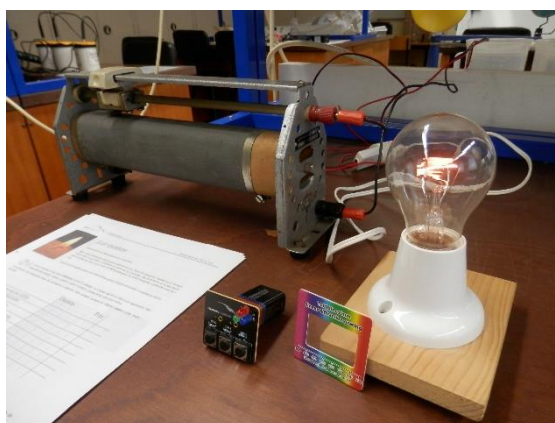


Figura 3-8. Experiência do espectro luminoso onde foi utilizado um resistor (sugerido pelo grupo de investigação) para permitir variar a intensidade luminosa da lâmpada.

3.3.3 Colaboração com a Fábrica das Ciências e a rede Ciência Viva

Nesta fase dos trabalhos realizaram-se na Fábrica das Ciências, em Aveiro, encontros com investigadores colaboradores do projeto de formação¹⁴ para professores, intitulada “*Photonics Explorer*”. A rede de Centros Ciência Viva esteve representada nestes encontros e, a par da Sociedade Portuguesa de Física, foram parceiros diretos no financiamento para aquisição dos “*kits*”. Estes encontros na Fábrica de Ciências serviram para a elaboração das estratégias para a formação dos professores, assim como para o estudo e sugestões relativamente às experiências do “*kit*” experimental, (Pombo & Fiolhais, 2016), (Universidade de Aveiro, 2017), (Ciência Viva, 2017), (SP Física, 2017).

Esta colaboração com a Fábrica das Ciências e com o Ciência Viva foi muito importante não só pela articulação de saberes entre os promotores da iniciativa, mas também porque foi essencial na discussão e validação das ferramentas de avaliação quantitativa das aprendizagens dos alunos, de que falaremos mais adiante.

3.3.4 “*Photonics Explorer*” – intervenção piloto

Os 8 módulos (Básico e Secundário) do “*Photonics Explorer*” foram implementados de forma piloto em duas escolas do Porto. Durante os trabalhos foram observados, explorados e registados, dados sobre as experiências e sobre fatores teórico/pedagógicos. Pôde-se colher informações sobre, por exemplo, as rotinas envolvidas nas atividades, temporização das fases das experiências, número ideal de elementos por grupo de acordo com a atividade, resultados

¹⁴ A formação dada para os professores colaboradores da investigação será melhor detalhada na subseção 3.3.5.

apresentados pelos estudantes, materiais suplementares de leitura que poderiam ser utilizados, integração de professores, “feedback” sobre motivação dos estudantes, etc.

Todos os sujeitos participantes neste estudo piloto foram voluntários, tendo sido informado aos mesmos do que se tratava o projeto “*Photonics Explorer*”. Nos encontros realizados uma vez por semana, seguiu-se a matriz (atividades/tempo) sugerida no “*kit*”, tendo sido acrescentados e usados materiais e recursos didáticos (por exemplo, sites para consultas), além de reformulado o tempo para cada atividade, de tal modo que não alterasse drasticamente o que era inicialmente sugerido pelos desenvolvedores da ferramenta. O grupo de investigação teve este cuidado considerando que apesar de haver a menção explícita de que o professor tinha total liberdade para “sugerir/aplicar” adaptações nas atividades, também era observado que estas não deveriam fugir radicalmente daquilo que era inicialmente proposto para não se perder a orientação pedagógica original. Além do mais, para a condução da investigação com caráter quase-experimental, concluiu-se que quanto mais interferências significativas nas ferramentas, métodos, variáveis amostrais, entre outros, maiores seriam os “ruídos”, levando assim à redução da confiabilidade da mesma.

Além dos dados qualitativos obtidos a partir das observações diretas, “feedbacks” dos professores, registos fotográficos, conversas com os estudantes, entre outros, dados quantitativos também foram levantados com a aplicação do teste piloto de ótica. O teste inicial continha perguntas abertas e fechadas, além de questões conceituais e que envolviam cálculos. Este processo seguiu, tanto quanto possível, as etapas necessárias para confecção de um teste para uma investigação de essência experimental. Após a análise dos resultados, o teste definitivo¹⁵ foi

¹⁵ O instrumento de avaliação utilizado na investigação é abordado na seção 3.4.

elaborado, sendo composto por 13 questões conceituais com poder discriminante variável e de múltipla escolha, (Anexo 2 – teste de ótica).

As figuras a seguir mostram algumas atividades realizadas durante a intervenção piloto:



Figura 3-9. Os estudantes são orientados por professor da FCUP.



Figura 3-10. Os estudantes apresentam trabalho de investigação realizado com base em experimentos do "Photonics Explorer".

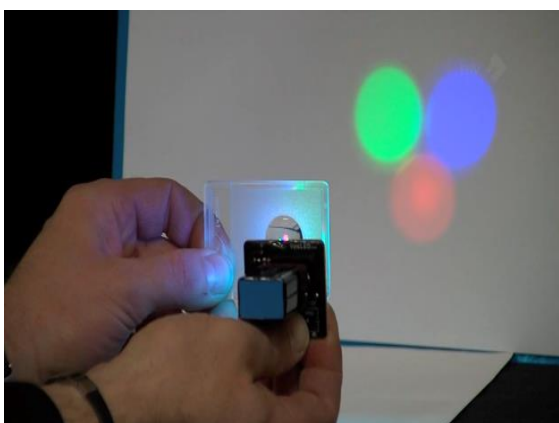


Figura 3-11. Estudo da combinação das cores utilizando material disponível no "Photonics Explorer", (IYL2015, 2017).



Figura 3-12. "Kit" experimental "Photonics Explorer".

3.3.5 Treinamento “*Photonics Explorer*” – professores colaboradores

Nesta etapa, cada escola que compôs o Universo de investigação (24 escolas) foi representada por dois professores de Físico-Química nos “*Workshops: Photonics Explorer*”, trabalho este integrado ao projeto nacional do Ano Internacional da Luz (IYL 2015), “Haja Luz nas Escolas”, organizado e conduzido em julho de 2015 e janeiro de 2016 na cidade do Porto pelo Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e financiado pela Agência Ciência Viva e pela Sociedade Portuguesa de Física, (IYL2015, 2017), (Ciência Viva, 2017), (SP Física, 2017).

Os professores puderam conhecer e realizar todos os experimentos (níveis Básico e Secundário) do “*Photonics Explorer*”. Além disso, receberam gratuitamente um “*kit*” experimental por escola. Os trabalhos, apesar de seguirem um molde parecido ao da formação realizada em Bruxelas, foram mais aprofundados, extensos e completos. Isto porque, além da implementação cuidadosa e minuciosa de cada experimento por todos os professores participantes, onde sugestões eram feitas e discutidas, experiências na sala de aula e aspectos teórico/práticos sobre a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” e sobre aprendizagem colaborativa foram tratados com os profissionais. Ao todo realizaram-se 4 encontros em dias de sábado nos turnos manhã e tarde, num total de 25 horas.

Estas 24 escolas do Norte de Portugal compunham o Universo delimitado para a investigação. No processo de amostragem a intenção inicial era obter a máxima representatividade deste Universo. Para tanto, almejava-se a obtenção de dados sobre a implementação da investigação, assim como dos testes de ótica (pré e pós-teste), através da colaboração de pelo menos um professor (participante da formação) de cada uma das 24 escolas. Porém, como já

referido anteriormente, apenas 4 escolas (8 professores) colaboraram voluntariamente fornecendo dados sobre a implementação da ferramenta no 8º ano e na forma de clubes de ciências.

As figuras a seguir mostram algumas atividades realizadas pelos professores durante o treinamento:



Figura 3-13. Professores fazem observações e tomam nota durante o treinamento.



Figura 3-14. Professores realizam e discutem em grupo as experiências do “*Photonics Explorer*”.



Figura 3-15. Os professores participantes são orientados por um dos professores da FCUP.

3.3.6 Grupo controle

O grupo controle foi composto por estudantes do 8º ano do Ensino Básico. Todos foram voluntários para realizar o teste diagnóstico e estavam em turmas para estudantes com idade escolar regular (13 anos¹⁶). Os estudantes foram identificados apenas pelos professores colaboradores, pois havia a necessidade, por questões de organização, em associar os resultados do pré-teste aos do pós-teste para o mesmo estudante. Quando os dados foram enviados para o grupo de investigação, não haviam informações que identificassem os participantes. Também é importante referir que o grupo controle foi composto por estudantes de 3 turmas diferentes: duas de uma mesma escola, com total de 25 estudantes, e uma de outra escola, com total de 5 estudantes.

Os professores colaboradores tiveram o cuidado de não impor a realização dos testes, ou seja, nenhum aluno foi forçado a participar na recolha de dados e os alunos participantes foram aqueles que se prontificaram em realizar os testes. Por este motivo, os 30 estudantes que compunham o grupo controle, faziam parte apenas de duas das quatro escolas, sendo 25 de uma e 5 de outra. Este fator, no entendimento dos investigadores, não interferiu na interpretação dos dados, já que as 4 escolas possuíam características semelhantes e que foram inicialmente delimitadas pelas diretrizes da investigação e em particular pelo conhecimento demonstrado no pré-teste. Deste modo, para a organização dos dados e posterior análise estatística, não se considerou as escolas isoladamente, mas sim a amostra como um todo, a saber, alunos que nunca tiveram contato o “*Photonics Explorer*” (grupo controle) e alunos que utilizaram o “*kit*” em contexto de clube de ciências (grupo experimental). Os resultados obtidos neste grupo de controle

¹⁶ Nem todos os professores colaboradores do estudo indicaram a idade dos estudantes participantes, já que alguns enviaram os resultados dos testes como planilha do Excel. Houve casos onde esta informação foi dada apenas para o pós-teste, quando alguns estudantes já haviam concluído o ano letivo da intervenção (8º ano) e completado 14 anos.

serviram de referência, também, para avaliar o teste diagnóstico de conhecimentos utilizado nesta investigação.

3.3.7 Grupo experimental

O grupo experimental foi uma amostra de conveniência composta por estudantes do 8º ano do Ensino Básico. Todos foram voluntários e estavam em turmas para estudantes com idade escolar regular (13 anos). Tal qual os sujeitos do grupo controle, os do experimental foram identificados apenas pelos professores colaboradores considerando os mesmos motivos já relatados anteriormente. As informações de identificação repassadas para o grupo de investigação seguiram os mesmos protocolos do grupo controle.

Os estudantes estavam distribuídos pelas 4 escolas colaboradoras, sendo o número de participantes igual a 16, 5, 5 e 4 para as escolas A, B, C e D, respectivamente. Portanto, ao todo foram 30 estudantes com as mesmas características definidas pelo delineamento amostral (ver seção 3.2), o que permitiu realizar as análises quantitativas dos resultados para um único grupo experimental. O controle sobre as características da amostra permitiu eliminar futuras complexidades quanto à análise quantitativa e qualitativa dos dados. Isto porque, seria metodologicamente inadequado juntar em um único grupo sujeitos com características completamente diferentes, por exemplo, se parte fosse de escolas particulares e outra parte de escolas públicas. Além do mais, também seria inviável aplicar métodos estatísticos para grupos com, por exemplo, 5 participantes, tanto a nível operacional já que alguns modelos exigem número muito superior a este para serem aplicados, como a nível de interpretação dos resultados já que não seriam de forma alguma confiáveis.

O grupo experimental foi composto por estudantes de 4 turmas diferentes, sendo uma de cada escola. Oito professores (dois por escola) colaboradores (participaram da formação sobre o “*Photonics Explorer*”) foram responsáveis pelos trabalhos nos Clubes de Ciências junto ao grupo experimental. Dentre estes, **3 foram, também, professores das turmas de controle.**

Após serem apresentados ao projeto “*Photonics Explorer*”, os estudantes participantes puderam se inscrever voluntariamente para a realização das atividades implementadas no formato Clube de Ciências (já que as atividades não ocorreram nas aulas convencionais). Para o grupo de investigação o número de estudantes por escola foi adequado, já que permitiu que os professores pudessem acompanhar cada um dos participantes de forma mais próxima. Na subseção a seguir são apresentados com maiores detalhes os procedimentos adotados nas intervenções com o grupo experimental.

3.3.8 Intervenção experimental – etapas e procedimentos

A aplicação da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” associada a ferramenta “*Photonics Explorer*” no ensino de ótica, ocorreu para os alunos do grupo experimental das escolas tomadas como amostra, onde o espaço dedicado às atividades foi organizado na forma de Clube de Ciências.

As atividades do “*Photonics Explorer*” aplicadas no Nível Básico¹⁷ (*Lower Secondary Level*), apresentavam a distribuição dos conteúdos de ótica por grau de dificuldade operacional e hierarquização conceitual.

¹⁷ Esta investigação considerou somente o 8º ano (3º ciclo) com estudantes em idade regular.

O “*kit*” experimental “*Photonics Explorer*”, desenvolvido por especialistas de 11 países da União Europeia, atualmente é distribuído em 13 idiomas, a saber, búlgaro, checo, holandês, inglês, francês, finlandês, alemão, grego, italiano, polonês, russo, espanhol e português, (Eyest, 2017). Para o português de Portugal e do Brasil, as traduções foram realizadas como parte desta investigação, tendo sido os trabalhos apoiados pelo Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Quanto à intervenção experimental, a sugestão feita para os professores através das “notas para o professor”, eram 10 encontros (aulas), sendo um por semana em momento diferente ao das aulas convencionais. Uma vez que a investigação foi dirigida aos alunos voluntários do Clube de Ciências, e pretendia ver o efeito das atividades do “*kit*”, aplicadas como complemento ao ensino tradicional da ótica, sobre a aprendizagem dos alunos, foi solicitado aos professores cooperantes que não fizessem uso avulso das atividades do “*kit*” na sala de aula. A durabilidade foi em média de 80 minutos por sessão no Clube de Ciências, apesar da sugestão encontrada no material de apoio ser de 50 minutos, (Anexo 1 – materiais de apoio do “*Photonics Explorer*”). A flexibilidade no tempo era total, já que o intuito não era impor um roteiro rígido aos estudantes, mas permitir que estes completassem todas as atividades de forma satisfatória. A definição deste parâmetro ficou a cargo do professor, levando em consideração o tempo disponibilizado pela escola. A única exigência era que o tempo mínimo deveria ser aquele indicado nas “notas para o professor” (50 min) e que o tempo máximo não deveria extrapolar o período letivo ou mesmo interferir nas atividades regulares da escola, consumindo a maior parte do tempo.

A tabela a seguir mostra os módulos, capítulos, sugestão de tempo para as atividades, conhecimentos prévios necessários (considerando apenas conceitos de ótica), conhecimentos a serem adquiridos e materiais de apoio do “*Photonics Explorer*” utilizados na investigação:

Tabela 3-2. Organização dos módulos do "Photonics Explorer" utilizados na investigação.

| MÓDULOS | CAPÍTULOS | SUGESTÃO DE DURAÇÃO (Aula) | CONHECIMENTOS PRÉVIOS NECESSÁRIOS | CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS | MATERIAIS DE APOIO |
|--|------------|--------------------------------------|--|---|---|
| COMUNICAR COM LUZ (<i>Light Signals</i>) | Capítulo 1 | Aula 1 – 50 min. Aula 2 – 50 min. | <ul style="list-style-type: none"> Não é necessário | Fatos: <ul style="list-style-type: none"> A luz propaga-se rapidamente em linha reta; Distinguir os fenómenos de absorção, espalhamento e reflexão; Identificar materiais transparentes; Propagação da luz nas fibras óticas. Competências: <ul style="list-style-type: none"> Trabalhar em grupo; Trabalhar como investigadores: desenvolver soluções técnicas de acordo com especificações dadas. | <ul style="list-style-type: none"> 3 fichas de atividades; 1 ficha de informação. |
| | Capítulo 2 | Aula 3 – 50 min. | | | |
| CORES (<i>Colors</i>) | Capítulo 1 | Aula 1 – 50 min. Aula 2 – 50 min. | <ul style="list-style-type: none"> As pessoas vêem os objetos porque a luz procedente | Fatos: | <ul style="list-style-type: none"> 2 fichas de atividades; |

| | | | | | |
|----------------------------|------------|--------------------------------------|---|--|---|
| | | | daqueles incide nos seus olhos. | <ul style="list-style-type: none"> • A luz do Sol contém todas as cores do arco-íris; • A luz branca pode decompor-se em várias cores porque sofre refração; • Os filtros e objetos com cores aparecem coloridos porque absorvem partes do espectro visível; • A mistura aditiva das cores é explicada tomando como exemplo os ecrans dos computadores; • A mistura subtrativa de cores é explicada tomando como exemplo a impressão a cores; • A cor resulta de uma percepção. <p>Competências:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar com o método científico; • Planear experiências para comprovar uma hipótese; • Distinguir entre observações e interpretação dos resultados de uma experiência. | <ul style="list-style-type: none"> • 2 fichas de informação. |
| | Capítulo 2 | Aula 3 – 50 min. Aula 4 – 50 min. | | | |
| LENTE E TELESCÓPIOS | Capítulo 1 | Aula – 50 min. | <ul style="list-style-type: none"> • Conhecimentos básicos sobre lentes; | Fatos: | <ul style="list-style-type: none"> • 1 ficha de trabalho; |

| | | | | | |
|--|------------|------------------|---|---|---|
| <i>(Lenses and Telescopes)</i> | | | <ul style="list-style-type: none"> • Lentes côncavas e convexas. | <ul style="list-style-type: none"> • Como diferentes lentes focam a luz; • O conceito físico de “ponto focal”; • A diferença entre imagem real e imagem virtual; • Como construir dois tipos de telescópios; • Como calcular a ampliação de um telescópio; • O conceito de campo de visão. <p>Competências:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar em grupo; • Trabalhar com lentes e diagramas simples de construção de imagens (diagrama de raios); • Construir a sua própria experiência e relacionar as observações com a teoria. | <ul style="list-style-type: none"> • 1 ficha de informação. |
| OLHO E VISÃO <i>(Eye and Vision)</i> | Capítulo 1 | Aula 1 – 50 min. | <ul style="list-style-type: none"> • A forma como as lentes alteram a trajetória da luz; • A equação das lentes finas; • Os tipos básicos de lentes. | <p>Fatos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medição de distâncias focais; • Componentes de uma câmera; | <ul style="list-style-type: none"> • 2 fichas de trabalho; • 1 Ficha de informação. |
| | Capítulo 2 | Aula 2 – 50 min. | | | |

| | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|--|--|--|--|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Constituintes do olho humano; • Funções de cada componente da máquina fotográfica e do olho; • Aplicação da equação das lentes finas para calcular distâncias focais máximas e mínimas; • Interpretação do conceito de acomodação do olho e seu modo de funcionamento. <p>Competências:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar em grupo; • Relacionar conceitos concretos (componentes da máquina fotográfica) com conceitos abstratos (componentes do olho); • Realizar um trabalho experimental com lentes seguindo um protocolo; • Trabalhar com lentes e diagramas de raios. | |
| TOTAL – 4 módulos. | TOTAL – 7 capítulos. | TOTAL – 10 aulas (500 min.). | | | |

Quanto à periodicidade, foi sugerido aos professores colaboradores da investigação um encontro a cada semana, a fim de permitir que os estudantes tivessem tempo útil para buscar novas informações, acessar materiais através de mídias eletrônicas, discutir entre si e com os professores, além de refletirem individualmente sobre as atividades realizadas. Já que os docentes também tinham liberdade em relação a este parâmetro, apesar de que não deveriam fugir demasiado da orientação inicial (por exemplo, realizar encontros com intervalos de 3 ou mais semanas), alguns dos encontros ocorreram com intervalo de 2 semanas. Porém, os profissionais foram orientados a instigar os estudantes nas semanas livres, por exemplo, questionando-os a respeito das atividades realizadas anteriormente e se possível, pouco antes da próxima atividade, distribuindo as “fichas de informação”.

Cada “*kit*” possibilitava que até 30 estudantes de uma só vez, considerando grupos de 3 elementos, participassem das atividades, já que cada conjunto de componentes experimentais do “*kit*” era composto por 10 unidades (Eyest, 2017). Sugeriu-se aos professores que caso o total de voluntários se aproximasse desse número, e caso desejassem, os grupos poderiam ser formados por um número maior de elementos (por exemplo, 6), evitando assim demasiada repetição de informações nas apresentações feitas por estes.

Para alguns experimentos foram necessários materiais não disponíveis originalmente no “*kit*” experimental, como por exemplo CDs virgens, lâmpadas, molas, pincéis, papel, tesoura, líquidos, tintas, entre outros, os quais foram providenciados pelos professores e escolas.

Foram trabalhados ao todo quatro módulos, sendo que em todos houve atividades experimentais “*hands-on*” desenvolvidas pelos estudantes sob a tutoria do professor colaborador. Também ocorreram apresentações de seminários por parte dos estudantes, discussões sobre conceitos e diferentes alternativas para resolução de problemas.

Os professores colaboradores do estudo seguiram as atividades do “*Photonics Explorer*” como realizado na formação ocorrida na Universidade do Porto, as quais são também orientadas nas fichas de informação e fichas para os professores. A tabela a seguir mostra o resumo de cada uma destas atividades desenvolvidas em cada módulo abordado durante a intervenção de acordo com as fichas seguidas pelos professores e estudantes (Anexo 1 – materiais de apoio do “*Photonics Explorer*”):

Tabela 3-3. Resumo das atividades desenvolvidas em cada um dos módulos abordados durante a investigação.

| MÓDULOS | RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS |
|---|---|
| COMUNICAR COM LUZ (<i>Light Signals</i>) | Inicialmente nesta atividade, os alunos deviam ser estimulados a desenvolver um sistema de comunicações para uma comunidade imaginária, com o intuito de serem adquiridos conhecimentos sobre propriedades básicas da luz. Após serem confrontados com o problema de como enviar sinais de luz contornando um obstáculo, os estudantes deveriam ser estimulados a discutir o fenômeno da reflexão e o funcionamento dos espelhos. Depois de terem sido conduzidos experimentalmente para o processo de propagação da luz por reflexão interna total, os alunos puderam aplicar os seus conhecimentos em um jogo no qual deveriam construir um sistema de telecomunicações utilizando fibras óticas. Todas as atividades realizadas deviam ser feitas utilizando-se espelhos, “ <i>laser</i> ”, LEDs e fibras óticas presentes no “ <i>kit</i> ” experimental. |
| CORES (<i>Colors</i>) | Como ponto inicial desta atividade, os estudantes são convidados a descrever suas vivências com o arco-íris, onde cada um deve falar sobre aquilo que sabe sobre o fenômeno. Depois, é dada a oportunidade de observar a formação dos padrões de cores utilizando |

diferentes objetos, como, por exemplo, CD e copo com água expostos à luz do Sol, podendo-se propor também novas experiências para observar os padrões. Os grupos tiveram de fazer propostas e discutí-las com os outros participantes. Os filtros de cor podem ser utilizados para observar diferentes superfícies, sendo feitas anotações para posteriormente serem apresentadas e discutidas. Manipulando e observando os filtros, os estudantes devem idealizar experiências para provar as evidências de suas hipóteses simulando o trabalho de um investigador. Após discussões entre si e diversas experiências, os alunos devem formular conclusões, como, por exemplo, que a luz solar contém todas as cores, e que os filtros absorvem parte da luz branca deixando passar apenas uma parte da radiação, etc. Durante todo o processo os estudantes devem anotar suas hipóteses e desenvolver novas experiências para provar seus pontos de vista. Finalmente, através das experiências realizadas, discussões e intervenções teóricas do professor, os estudantes podem perceber como o arco-íris é formado, o processo óptico através de gotas de chuva, entre outros conceitos inerentes a este tema.

Como continuação dos trabalhos os estudantes podem discutir e emitir opiniões sobre como se obtém as diversas cores. Com base em suas hipóteses devem tentar reproduzir a cor do olho de algum colega. Posteriormente são feitas discussões posteriores a respeito das características biométricas da íris, assim como de suas aplicações tecnológicas. A forma como se alcança as impressões coloridas também é discutida entre os grupos. Utilizando uma lente com $f = 30$ mm (presente no “*kit*”) como lupa os estudantes devem observar diferentes figuras coloridas. Após as discussões teóricas e atividades práticas os estudantes são levados a perceber que 4 cores formam todas as demais em uma impressão colorida. Com o auxílio de recursos computacionais sugeridos nos materiais de apoio, os estudantes podem simular, observar e compreender a adição de cores e como as imagens são formadas em um monitor de computador, além de manipular as características de fotos percebendo as implicações das

| | |
|--|---|
| | <p>mudanças realizadas. Os tripletos de cores e a relação existente entre eles pode ser tratado experimentalmente através dos módulos de LEDs. Como trabalho final, utilizando todo o conhecimento adquirido e recursos computacionais sugeridos, os estudantes têm de criar os seus próprios anáglifos e apresentarem aos demais grupos.</p> |
| <p>LENTE E TELESCÓPIOS <i>(Lenses and Telescopes)</i></p> | <p>Os estudantes iniciam os trabalhos com a observação qualitativa e anotações das diversas características das lentes presentes no “<i>kit</i>”. O objetivo é aprender experimentalmente a identificar o foco e a distância focal de uma lente, além de perceber o que ocorre com a imagem quando o objeto é colocado em determinadas posições. As lentes bicôncavas e biconvexas são exploradas teoricamente e experimentalmente, onde se pode aprender, entre outras coisas, as técnicas de desenho de diagramas para a formação de imagens e os conceitos de imagem real e imagem virtual. Após a exploração histórica sobre Galileu e Kepler e sobre as configurações técnicas dos seus telescópios, os estudantes devem construí-los utilizando as lentes disponíveis no “<i>kit</i>”. Posteriormente, devem discutir as diferenças entre uma lupa e um telescópio, além de calcular e interpretar a ampliação dos telescópios que construíram.</p> |
| <p>OLHO E VISÃO <i>(Eye and Vision)</i></p> | <p>Os trabalhos são iniciados com uma discussão sobre como o ser humano consegue ver os objetos, o que interfere no seu sistema de visão e em que aspectos o olho pode ser comparado com uma máquina fotográfica. Feita esta discussão, os estudantes têm de resolver um quebra-cabeças com figuras de partes do olho e de uma máquina fotográfica, onde, o objetivo é colocar em sequência, desenhar como os raios de luz entram e saem de cada um e perceber características como, por exemplo, serem partes fixas ou móveis. Após discutirem as suas soluções, devem apontar por escrito semelhanças e diferenças entre o olho e a máquina fotográfica. Também é aprendido e discutido que à semelhança de um computador o cérebro é o responsável por processar a imagem captada pelo olho. Após a finalização destas</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>atividades, leituras suplementares e pesquisas na web são sugeridas para serem realizadas pelos estudantes.</p> <p>Na segunda etapa e com divisão de tarefas dentro do grupo, os estudantes devem tentar medir a distância focal do olho usando como objeto o próprio dedo. Os resultados são então anotados e depois comparados com os demais, devendo depois serem discutidos os métodos experimentais, as diferenças nas medidas encontradas, diferenças com e sem óculos, etc. Com os valores anotados e usando a equação das lentes finas os estudantes calculam a distância focal do olho. Depois montam aparatos experimentais onde utilizaram diferentes lentes e o conjunto de LEDs para estudar quais características e combinação de lentes são necessárias para verem uma imagem nítida de perto e de longe, sempre tomando nota das observações para as discussões posteriores.</p> |
|--|---|

No anexo 1 podem ser vistos os materiais de apoio impressos utilizados na intervenção experimental e disponibilizados aos professores através de um CD que acompanha o “*Photonics Explorer*”. Estes materiais de apoio são divididos em notas para o professor, fichas de informação para os estudantes e fichas de trabalho, (Anexo 1 – materiais de apoio do “*Photonics Explorer*”). No CD encontram-se o material em língua portuguesa e nos demais idiomas dos países onde o “*kit*” experimental já foi distribuído.

3.4 Atividades e elementos componentes da variável dependente

3.4.1 Instrumento de avaliação quantitativa – teste de ótica

A ferramenta utilizada na investigação para obtenção dos dados quantitativos e avaliação da aprendizagem de ótica, foi um teste com perguntas de caráter conceitual com respostas de múltipla escolha, (Anexo 2 – teste de ótica, 8.2.2.1). O mesmo foi produzido considerando-se as premissas de **fidedignidade** (**fidelidade**) e **validade** como parâmetros de **confiabilidade**. A fidedignidade do instrumento refere-se à estabilidade e reprodutibilidade dos dados obtidos através dele, ou seja, se o teste for aplicado várias vezes sob as mesmas condições a um mesmo grupo, os resultados devem ser iguais, (Moreira, 2003). Como a amostra foi composta por pessoas, originando, portanto, dificuldade de se manter condições rigidamente iguais as iniciais, a fidedignidade do teste teve de ser estimada a partir do método estatístico Alpha de Cronbach para análise da consistência interna (Pestana & Gageiro, 2014).

Após a produção do teste em versão piloto este foi aplicado em duas escolas do Porto com características semelhantes às do Universo investigado. Parâmetros como o número de questões, conteúdos, interligação entre conteúdos, tipo de perguntas (abertas, fechadas, conceituais ou quantitativas), tempo de aplicação, entre outras, puderam ser analisados e dimensionados. Com base nas informações coletadas foi produzido um novo e definitivo teste com 13 questões de múltipla escolha com cinco alternativas cada, com poder de discriminação variável (Anexo 2 – teste de ótica). A tabela a seguir mostra a classificação das questões por categorias:

Tabela 3-4. Categorização das questões do teste de ótica utilizado como ferramenta de avaliação quantitativa.

| QUESTÕES | CATEGORIAS |
|----------|--|
| 1 | Propagação retilínea da luz, reflexão da luz, propriedades óticas dos materiais. |
| 2 | Imagem dada por um espelho plano. |
| 3 | Imagem dada por um espelho plano. |

| | |
|----|---|
| 4 | Propagação retilínea da luz, reflexão da luz. |
| 5 | Fenómenos óticos. Reflexão, refração, absorção e espalhamento da luz. |
| 6 | Imagem dada por uma lente convergente. |
| 7 | Imagem dada por uma lente convergente. |
| 8 | Características das lentes. |
| 9 | Imagem dada por um espelho plano. |
| 10 | Adição e subtração de cor. |
| 11 | Adição e subtração de cor. |
| 12 | Adição e subtração de cor. |
| 13 | Espectro da luz solar. |

O teste final foi novamente aplicado a uma amostra de 30 elementos com características semelhantes à do Universo investigado, onde obteve-se o seguinte resultado para o Alpha de Cronbach calculado através do IBM SPSS:

Tabela 3-5. Alpha de Cronbach calculado para o teste final.

| Estatísticas de confiabilidade | | |
|--------------------------------|---|------------|
| Alfa de Cronbach | Alfa de Cronbach com base em itens padronizados | N de itens |
| ,707 | ,723 | 13 |

O resultado calculado mostrou que a consistência interna do teste, que podia variar entre 0 e 1, foi razoável (alpha entre 0,7 e 0,8), (Pestana & Gageiro, 2014). Possivelmente, este resultado poderia ter sido melhor caso o tamanho da amostra utilizada para verificar a consistência interna fosse muito maior (por exemplo, de 200 a 300 estudantes) assim como o número e tipologias de questões, podendo levar a diferentes remodelações ou inserção/exclusão de itens.

Houveram severas dificuldades na fase de construção/análise da ferramenta de avaliação: escolas dispostas a colaborar, tempo disponibilizado pelas escolas colaboradoras, número de estudantes voluntários, etc. Em uma delas, por exemplo, o professor de Ciências teve de “negociar” com o professor de Educação Física alguns minutos para aplicação do teste piloto. Evidentemente, após a aplicação em condições desfavoráveis, a saber, com os estudantes distribuídos e sentados na quadra de esportes, estes resultados não foram considerados. Portanto, para garantir o prosseguimento das atividades de investigação, mesmo com amostra reduzida, o resultado (razoável) para a consistência interna do teste final foi encarado como aceitável pelo grupo de investigação. Nesta fase de teste não foram avaliados efeitos de ganhos de aprendizagem.

A validade considerada para o teste foi a **validade de conteúdo**, onde três especialistas da área de Ensino das Ciências, Ensino de Física e de Ótica Pura e Aplicada do Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, e ainda da Universidade de Aveiro, colaboraram para sua construção. Os especialistas apresentaram sugestões de questões que levavam em conta a significância e representatividade em função dos conteúdos que deveriam ser abordados. As questões do teste final enfatizaram principalmente o domínio conceitual necessário para potencializar a resolução de problemas do dia-a-dia (Anexo 2 – teste de ótica). Também é importante referir que a eficácia do teste para avaliar os ganhos de aprendizagem dos alunos, só foi testada durante a investigação. Sem dúvida isto gerou “ruídos” que foram refletidos nos resultados estatísticos obtidos. Sendo esta uma das limitações destacadas neste estudo (5.6 - Limitações da investigação e sugestões para trabalhos futuros), tal não invalida as conclusões que podem ser retiradas dos resultados.

3.4.2 Procedimentos para recolha dos dados principais

Na tabela a seguir são mostrados os procedimentos para recolha dos dados. As informações foram organizadas em fases, para facilitar a compreensão:

Tabela 3-6. Procedimentos para recolha dos dados organizados em fases.

| FASES | DESCRIÇÃO |
|----------------|---|
| 1 ^a | <p>Observação direta da(s) metodologia(s) e ferramenta(s) educativas comumente utilizada(s) para o ensino de ótica no 8º ano do Ensino Básico pelas escolas públicas do Norte de Portugal. Tais observações tiveram o propósito de contextualizar as práticas escolares para as discussões em que se fizessem necessárias as informações, tanto na fase de implementação como de análise dos resultados, por exemplo, se os métodos eram mais centrados no professor ou no estudante.</p> <p>Os dados foram registados através de fotos e vídeos. Obtiveram-se informações sobre, por exemplo, materiais didáticos utilizados em sala de aula, tipos de avaliação, existência e uso de laboratórios, experimentos, formas de apresentação de relatórios, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Duração – Toda a fase de planeamento até à aplicação do pré-teste. |
| 2 ^a | <p>Aplicação do pré-teste (teste final de 13 questões) versando sobre temas de ótica (abordados no “<i>Photonics Explorer</i>”) do Ensino Básico, aos grupos de controle e experimental, (Anexo 2 – teste de ótica, 8.2.2.1).</p> <p>Durante os procedimentos foram repassadas as seguintes informações para os estudantes:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) O teste é individual não sendo permitido conversar com o colega. b) Durante o teste só é permitido o uso de caneta. c) Preencher a folha de respostas apenas com as informações solicitadas (8.2.2.1). |

| | |
|----------------|---|
| | <p>d) Evitar omissão de respostas.</p> <p>e) O tempo para o teste é de 45 minutos.</p> <p>f) Ao final devolver ao professor o teste e a folha de respostas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nº de alunos participantes – 60. • Seleção – amostra aleatória (alunos do grupo controle), amostra de conveniência (alunos do grupo experimental). • Tempo de aplicação – 45 minutos. • Organização dos dados quantitativos – “<i>software</i>” IBM SPSS. |
| 3 ^a | <p>Aplicação da metodologia “<i>Inquiry-Based Learning</i>” associada à ferramenta “<i>Photonics Explorer</i>”. Esta metodologia foi aplicada durante a realização e a exploração das diferentes atividades propostas no kit para o Ensino Básico, em contexto de Clube de Ciências.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tempo de intervenção – entre 10 e 16 semanas. • Público – alunos do 8º ano do Ensino Básico (3º ciclo) de quatro escolas públicas do grande Porto. • Ambiente de atividades – sala de aula, laboratório de ciências. • Organização – grupos de 3 ou 4 estudantes. • Tutoria – 1 ou 2 professores. • Número de aulas – 10. • Tempo sugerido por aula – mínimo de 50 minutos. • Dados recolhidos – fotos e anotações a partir de observações diretas. |
| 4 ^a | <p>Aplicação do pós-teste de ótica aos grupos de controle e experimental. O teste aplicado nesta fase foi o mesmo aplicado como pré-teste, porém fatores históricos como a memorização de questões foram desconsiderados, já que o intervalo de aplicação foi maior que seis meses. Além do mais, as questões não foram discutidas em sala de aula após o pré-teste, não sendo também permitido aos estudantes copiarem ou ficarem de posse do teste. Isto foi explicitamente recomendado aos</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>professores colaboradores, quer em relação aos alunos do grupo controle, quer aos do grupo experimental.</p> <p>Também foram considerados os efeitos de maturação, ou seja, a aplicação do pós-teste não foi imediata ao término dos experimentos, o que poderia provocar efeitos associados à simples memorização de conceitos. Estas medidas foram adotadas para evitar efeitos de teste que ameaçassem a validade interna da ferramenta de avaliação (Breakwell, 2010).</p> <p>Durante os procedimentos foram repassadas as seguintes informações para os estudantes:</p> <ol style="list-style-type: none"> O teste é individual não sendo permitido conversar com o colega. Durante o teste só é permitido o uso de caneta. Preencher a folha de respostas apenas com as informações solicitadas (8.2.2.1). Evitar omissão de respostas. O tempo para o teste é de 45 minutos. Ao final devolver ao professor o teste e a folha de respostas. <ul style="list-style-type: none"> Nº de alunos participantes – 60. Seleção – voluntariado (os mesmos estudantes participantes da etapa 2). Tempo de aplicação – 45 minutos. Organização dos dados quantitativos – “<i>software</i>” IBM SPSS. |
|--|---|

3.4.3 Análise dos dados obtidos

Após a classificação e organização dos dados, estes foram processados computacionalmente através do “*software*” IBM SPSS. Foram gerados resultados estatísticos que permitiram a interpretação quantitativa das informações obtidas. Estes resultados, conjuntamente com os demais registos (fotos, vídeos, etc.), serviram como base para as conclusões quanto à

implementação do método e ferramenta didática como complemento ao ensino tradicional em sala de aula dos conteúdos curriculares de ótica do Ensino Básico (3º ciclo).

Para a escolha dos métodos estatísticos apropriados, teve-se de inicialmente olhar para as variáveis dependentes e independentes que faziam parte do estudo, (Figura 3-1). Em seguida as variáveis foram classificadas como nominais, ordinais ou de intervalo. A classificação gerada pode ser vista na figura a seguir, (Figura 3-16). Com base nestes dados, e utilizando, também, a tabela mostrada a seguir (Tabela 3-7), a qual foi adaptada da obra de Tuckman, (Tuckman, 2012), foi possível escolher os testes estatísticos utilizados na investigação:

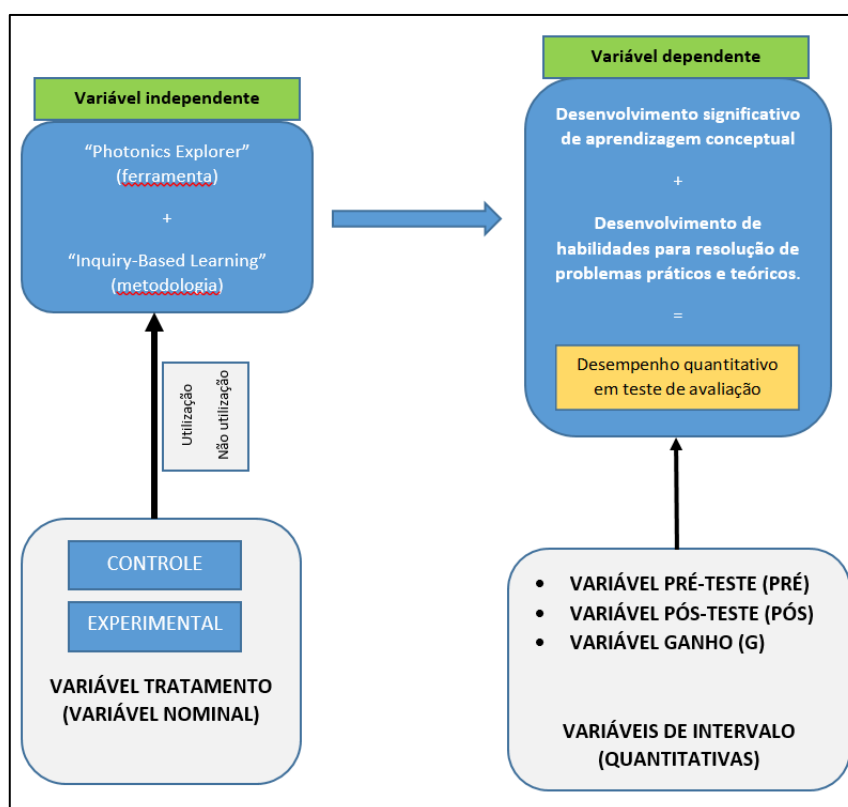


Figura 3-16. Classificação estatística dada para as variáveis da investigação.

Tabela 3-7. Tabela adaptada da obra de Tuckman com orientação para a escolha de método estatístico para tratamento dos dados, (Tuckman, 2012).

| | | | TIPO E NÚMERO DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES | | | | | | |
|--|-----------|------------|---|---------------------|---|-----------------------------|--|---|---------|
| TIPO E NÚMERO DE VARIÁVEIS DEPENDENTES | INTERVALO | | INTERVALO | | ORDINAL | | NOMINAL | | |
| | | | 1 | Mais que 1 | 1 | Mais que 1 | 1 | Mais que 1 | Linha 1 |
| | | 0 | | Análise fatorial | Transforme a variável ordinal em nominal e utilize C-1, ou transforme a variável de intervalo em ordinal e use B-2, ou transforme ambas as vaiáveis em nominais e use C-3 | | Análise da variância ou teste-t | Análise da variância | |
| | | 1 | Correlação | Correlação múltipla | | | | | |
| | | Mais que 1 | Correlação múltipla | | | | | | |
| | ORDINAL | 0 | Transforme a variável ordinal em nominal e use C-1, ou transforme a variável de intervalo em ordinal e use B-2, ou transforme a variável de intervalo em nominal e use C-2. | | | Coeficiente de concordância | Teste de sinais, teste da mediana, teste-U. Kruskal-Wallis | Análise da variância de 2 dimensões de Friedman | Linha 2 |
| | | 1 | | | Correlação de Spcarman, T de Kendall | | | | |
| | | Mais que 1 | | | | | | | |
| | NOMINAL | 0 | | | | | | Qui-quadrado | Linha 3 |
| | | 1 | Análise da variância Cf. C1 | | Teste de sinais, teste da mediana, teste-U. Kruskal-Wallis (cf. C2) | | Coeficiente ϕ Teste de Fisher Qui-quadrado | | |
| | | Mais que 1 | Análise da co-variância Cf. C1 | | Análise da variância de 2 dimensões de Friedman (cf. C2) | | | | |
| | | | Coluna A | | Coluna B | | Coluna C | | |

Pela figura anterior, (Figura 3-16), verifica-se que as análises estatísticas foram feitas para 1 variável nominal (independente) e 3 variáveis quantitativas de intervalo (dependentes). Já na tabela adaptada da obra de Tuckman, (Tabela 3-7), é possível ver que considerando as variáveis definidas para o estudo, o método estatístico recomendado para análise dos dados é o teste t de Student.

Nas subseções a seguir são descritas as etapas do processamento estatístico realizado durante a investigação para obtenção dos resultados, assim como alguns conceitos teóricos fundamentais e necessários para a sua interpretação.

3.4.3.1 Testes de normalidade, simetria e achatamento para as distribuições das variáveis métricas

Como ambos os grupos, controle e experimental, eram compostos por 30 elementos cada, resultando, portanto, na mesma quantidade de dados para cada variável, foi necessário para a aplicação do teste t de Student que as distribuições das medidas obtidas para as variáveis métricas fossem normais ou pelo menos simétricas e mesocúrticas (mesmo achatamento que a normal), (Pestana & Gageiro, 2014).

Segundo Pestana e Gageiro uma distribuição normal ou de Gauss é:

“... uma distribuição contínua em forma de sino, unimodal, simétrica em relação a um eixo vertical situado na média, μ , com dois pontos de inflexão ou de mudança de concavidade em $\mu \pm \sigma$, onde σ é o desvio padrão, aproximando-se assintoticamente do eixo das abcissas”, (Pestana & Gageiro, 2014, p. 116).

Segundo os mesmos autores, a definição para uma distribuição simétrica e mesocúrtica é:

“A distribuição simétrica, ou não enviesada, tem as medidas de localização iguais entre si, isto é, a média, é igual à média aparada a 5%, é igual à mediana e é igual à moda. O achatamento ou curtose faz-se pela comparação com uma distribuição normal para um dado desvio padrão, indicando a intensidade das frequências à volta de um ponto central”, (Pestana & Gageiro, 2014, pp. 103-105).

A verificação da normalidade foi feita através dos testes de aderência: teste não paramétrico de aderência à normal Kolmogorov-Smirnov com a correção de Lilliefors e teste Shapiro-Wilk. O objetivo dos testes de aderência a normalidade foi escolher com o menor erro entre as hipóteses¹⁸ nula e alternativa:

H_0 : A distribuição da variável métrica é igual à normal.

H_a : A distribuição da variável métrica não é igual à normal.

Os resultados foram interpretados de dois modos diferentes: através da verificação do nível de significância associado a cada um dos testes de normalidade e consultando as tabelas Quantis das estatísticas de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk, (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-20 e Tabela 8-21).

“O objetivo do(s) teste(s) de aderência à normalidade consiste em escolher com o menor erro possível, qual das hipóteses melhor se adequa aos dados. Para tal, divide-se a distribuição de probabilidades da variável aleatória Y em duas regiões: a de aceitação (RA) de H_0 e a de rejeição de H_0 , ... uma região crítica unilateral direita (RCUD)”, (Pestana & Gageiro, 2014, p. 117).

Através do “software” IBM SPSS foram calculados os valores para a **assimetria** e **curtose** das distribuições das variáveis métricas. Estes valores foram utilizados para calcular a simetria e achatamento das distribuições, sendo feito do seguinte modo: dividindo-se cada um dos valores retornado pelo “software” pelo seu respectivo erro padrão. A simetria foi classificada como

¹⁸ Hipóteses exaustivas e mutuamente exclusivas (as únicas existentes e com possibilidade de escolha de apenas de uma).

simétrica e o achatamento como mesocúrtico, quando para ambos, o valor do quociente anteriormente mencionado estava entre $-1,96$ e $+1,96$, para um nível de significância de 0,05, (Pestana & Gageiro, 2014).

Através do IBM SPSS, também foram construídos os histogramas sobrepostos à curva normal para cada um dos grupos de tratamento, assim como os gráficos complementares Q-Q e Q-Q Normal sem Tendência. A análise destes gráficos em conjunto, permitiu identificar visualmente pontos das distribuições que estavam desviados da normalidade. No primeiro, os pontos apareceram distribuídos juntos à reta ascendente oblíqua, sendo a distribuição mais próxima da normal quanto mais próximos da reta estivessem os pontos. Já no segundo, verificou-se se os pontos estavam distribuídos aleatoriamente à volta da reta horizontal 0, sendo que quanto mais aleatórios, mais próxima da normal estava a distribuição.

É importante observar que todas as análises dos resultados foram apoiadas por estatísticas descritivas geradas através do IBM SPSS, tais como, medidas de tendência central, desvios, simetria, curtose, erros, e outros dados necessários para apoiar a interpretação de gráficos e testes de hipóteses. Todas estas informações foram apresentadas em tabelas e gráficos, (Anexo 3 – resultados estatísticos), e são mostradas/utilizadas ao longo da apresentação/discussão dos testes estatísticos paramétricos realizados.

Através das caixas de bigodes geradas para cada uma das distribuições, foi verificada a existência ou não de “*outliers*”. Esta análise foi necessária não apenas para constatar a existência destes pontos aberrantes, mas também para verificar, caso estivessem presentes nos dados, a sua influência nas estatísticas descritivas. Este cuidado teve de ser tomado para evitar interpretações equivocadas dos resultados gerados, o que afetaria a validade interna do estudo.

Segundo Pestana e Gageiro:

“Os ‘outliers’ são observações aberrantes que podem existir em amostras e classificam-se como severos ou moderados consoante o seu afastamento em relação às outras observações seja mais ou menos pronunciado. Sendo que ... ‘outliers’ moderados correspondem às observações x_i que se situam entre 1,5 e 3 amplitudes interquartis para baixo do primeiro quartil ou para cima do terceiro quartil. Já os ... ‘outliers’ severos correspondem às observações x_i que se situam em valores superiores ou iguais a 3 amplitudes interquartis abaixo do primeiro quartil ou acima do terceiro quartil”, (Pestana & Gageiro, 2014, p. 83).

As caixas de bigodes permitiram identificar a presença de “outliers”, os quais apareceram como pontos fora das caixas. Sendo que os pontos assinalados pelo IBM SPSS com bola arredondada foram classificados como moderados.

Após a constatação da existência destes pontos, comparou-se as estatísticas descritivas com e sem a sua presença, onde a sua influência foi considerada não relevante quando houve semelhança nos resultados calculados pelo “software” para as duas condições.

3.4.3.2 Testes t para análise do mesmo grupo de tratamento em momentos distintos

Nesta etapa foram realizados testes t com o objetivo de comparar as médias obtidas pelo mesmo grupo de tratamento nos dois momentos de realização do teste de ótica. Apenas a partir destes resultados foi possível considerar se seria ou não relevante realizar novos testes estatísticos para comparações entre os dois grupos de tratamento.

Para comparações de médias de dois momentos diferentes para um mesmo grupo, aplica-se o teste t de Student para amostras emparelhadas. Porém, a utilidade ou não do emparelhamento depende da existência de correlação linear entre os valores obtidos no pré e pós-teste. A existência de correlação linear significa maior vantagem na escolha deste teste por haver diminuição da

variância. Caso a correlação não seja verificada, o teste t para amostras independentes oferece melhores resultados, devendo ser, portanto, o teste estatístico aplicado, (Pestana & Gageiro, 2014).

Neste estudo, a correlação foi verificada através do coeficiente R de Pearson calculado pelo IBM SPSS. Apoiando-se nos valores retornados pelo “*software*”, decidiu-se pela não utilização do teste t para amostras emparelhadas para comparação das médias do pré e pós-teste do grupo experimental, sendo aplicado, neste caso, o teste t para amostras independentes (esta escolha será melhor explicada no capítulo que trata dos resultados).

3.4.3.2.1 Análise interna do grupo experimental

Considerando as pontuações do grupo experimental no pré e pós-teste, o teste t de Student para amostras independentes foi então aplicado para verificar a igualdade ou diferença estatística significativa entre as médias. Para apoiar as interpretações do teste realizado através do IBM SPSS, caixas de bigodes foram geradas para observação de possíveis diferenças nas dispersões das pontuações e existência ou não de “*outliers*”. A análise sobre a igualdade das dispersões foi possível a partir do teste de Levene, (Pestana & Gageiro, 2014). A realização do teste foi feita através do “*software*” com base nas seguintes hipóteses:

$H_0: \sigma^2_{\text{pré}} = \sigma^2_{\text{pós}}$, onde σ^2 é a variância.

$H_a: \sigma^2_{\text{pré}} \neq \sigma^2_{\text{pós}}$

Já para o teste t de Student para amostras independentes as hipóteses testadas foram:

H_0 : $\mu_{\text{pré}} = \mu_{\text{pós}}$, considerando o grupo experimental, a média do pré-teste é estatisticamente igual a média do pós-teste.

H_a : $\mu_{\text{pré}} \neq \mu_{\text{pós}}$, considerando o grupo experimental, a média do pré-teste difere estatisticamente da média do pós-teste.

Além do valor calculado para o teste t, a sua significância, o intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias, a tabela das distribuições t ou normal, (Tabela 8-22), e a tabela da função potência de Cohen (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-23), também foram utilizadas para apoio à tomada de decisões quanto a igualdade ou desigualdade entre as médias do pré e pós-teste.

No teste t para amostras independentes, os resultados foram calculados pelo IBM SPSS considerando o teste de hipóteses. Neste caso foram levados em conta os erros tipo I (α) e tipo II (β), onde para realização dos testes, α foi pré-definido em 0,05 (5%). O primeiro, chamado de nível de significância, é a probabilidade de rejeitar incorretamente H_0 (hipótese nula), enquanto que o segundo é a probabilidade de rejeitar incorretamente H_a (hipótese não nula). Estatisticamente, o erro tipo II foi condicionado automaticamente pelo valor escolhido para o erro tipo I. O valor de $\alpha = 0,05$ foi escolhido (selecionado no “software” quando se realizou os testes) por ser aquele comumente definido nas aplicações estatísticas feitas por especialistas das ciências do comportamento:

“Nas aplicações estatísticas feitas por especialistas das ciências do comportamento o nível de 5% (ou seja, $p < 0,05$) é muitas vezes considerado um nível de confiança aceitável para rejeitar a hipótese nula...”

Com frequência os estudos de investigação produzem diferenças entre as médias que são significativas a um nível de confiança de 0,01. As diferenças a este nível indicam apenas a probabilidade de 1% dessas diferenças serem somente devido ao acaso”, (Tuckman, 2012, p. 507).

Quanto à relevância dos dois tipos de erro, Tuckman esclarece que:

“Se os dois tipos de erro fossem considerados igualmente relevantes, os investigadores poderiam fixar-lhes níveis de significância iguais. Mas considera-se que o erro de Tipo I tem um risco mais crítico, porque uma conclusão positiva-falsa pode levar os investigadores a confiarem em resultados que não refletem as condições verdadeiras. Dado o caráter crítico de um erro de Tipo I, ele define-se normalmente a 5%, ou seja, com um nível de significância de 0,05, o que significa que os investigadores apenas aceitam cinco possibilidades em cem de cometerem um erro desse tipo”, (Tuckman, 2012, p. 510).

Um resultado estatístico que foi considerado de suma importância nesta investigação foi a confiança dos testes t para amostra independentes, ou seja, a potência do teste. Segundo Pestana e Gageiro, habitualmente a potência de um teste é associada ao valor $1 - \beta$, que mostra a confiança com que se pode verificar H_a (Pestana & Gageiro, 2014). Aqueles autores também observam que:

“Segundo o conceito frequencista, embora a potência de um teste possa ser muito elevada, tal não obriga à verificação da H_a . Sabe-se apenas que existe uma grande confiança em que se verifique H_a . A estatística, tal como na vida real não conhece o futuro, apenas o procura prever. Só após as ocorrências é que se sabe se a confiança que se tinha num dado resultado era ou não razoável”, (Pestana & Gageiro, 2014, p. 247).

Nesta investigação, para os testes t para amostras independentes que resultaram na rejeição da hipótese nula, a potência do teste foi verificada através da função potência de Cohen, cujos valores para dados parâmetros são facilmente consultados na forma de tabelas (*power tables*), (Cohen, 2013). Os valores referentes à tabela 2.3.5, (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-23), da obra do autor são válidos para grupos com o mesmo número de elementos ($n_A = n_B$), $\alpha = 0,05$ (erro Tipo I, com região crítica bilateral) e um dado valor de d, este último chamado de “*effect size*”, (Cohen, 2013).

Segundo Cohen:

“... a “pure” number, one free of our original measurement unit, with which to index what can be alternately called the degree of departure from the null hypothesis of the alternate hypothesis, or the ES (effect size) we wish to detect. This is accomplished by standardizing the raw effect size as expressed in the measurement unit of the dependent variable by

dividing it by the (common) standard deviation of the measures in their respective populations, the latter also in the original measurement unit”, (Cohen, 2013, p. 20).

Para a classificação de d se utilizou a nomenclatura de Cohen, a saber, $d \leq 0,2$, “*small effect size*”, $0,2 < d < 0,8$, “*medium effect size*”, e $d \geq 0,8$, “*large effect size*”, (Cohen, 2013). O valor de d , após calculado¹⁹, foi utilizado para verificar através da tabela de potência do teste t , (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-23), para $n = 30$ e $\alpha = 0,05$, qual a probabilidade de aceitação da hipótese não nula (H_a). Este valor foi importante por fornecer um parâmetro estatístico que traduziu a confiança nos resultados retornados pelo teste.

3.4.3.2.2 Análise interna do grupo controle

Para o grupo controle aplicou-se o teste t para amostras emparelhadas. O teste só foi realizado após constatar através do diagrama de dispersão, a relação linear entre as variáveis nº de acertos no pré e pós-teste. Após esta confirmação calculou-se o R de Pearson e o coeficiente de determinação R^2 , a fim de verificar como a alteração de uma variável podia ser explicada pela outra.

Quanto ao teste t para amostras emparelhadas, Pestana e Gageiro observam que:

“O emparelhamento é útil quando há correlação entre os valores observados nas duas amostras, levando, portanto, nessa situação a uma menor dispersão dos dados, do que aquela que resultaria do teste para amostras independentes.

O teste t para amostras emparelhadas compara o valor zero com a média das diferenças entre os pares das observações de duas variáveis, o que equivale a considerar que não há modificação significativa nos valores desses pares entre os dois momentos”, (Pestana & Gageiro, 2014, p. 898).

¹⁹ A equação utilizada para calcular o d de Cohen é apresentada no capítulo que trata dos resultados. Esta também pode ser vista na obra de Cohen: “*Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*”, (Cohen, 2013).

Portanto, para este caso as hipóteses testadas foram:

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_a: \mu_d \neq 0; \text{ ou } \mu_d > 0; \text{ ou } \mu_d < 0.$$

Ao contrário do teste t para amostras independentes, o de amostras emparelhadas testou a diferença entre as médias (μ_d). A hipótese alternativa incluiu o sinal de diferente, portanto, a região crítica das distribuições foi bilateral (ou $\mu_d > 0$; ou $\mu_d < 0$).

No teste de hipóteses realizado neste caso, semelhantemente às análises feitas para o grupo experimental, utilizou-se o valor do teste t assim como a significância atribuída a este, além do intervalo de confiança a 95% e a tabela das distribuições t ou normal.

3.4.3.3 Testes t para amostras independentes – comparação entre os dois grupos de tratamento

Nesta etapa foram comparadas as médias do pré-teste e do ganho para os grupos experimental e controle. Em relação ao pré-teste, a comparação entre os dois grupos através do teste t para amostras independentes²⁰ foi necessária para garantir estatisticamente que o grupo experimental e o controle eram inicialmente equivalentes quanto ao desempenho no teste de ótica. Metodologicamente não seria razoável, além de comprometer a validade da investigação,

²⁰ Os investigadores consideraram os grupos distintos desde o momento inicial, sendo que neste caso é mais adequado o teste t para amostras independentes, (Pestana & Gageiro, 2014), (Cohen, 2013). Porém, como a intervenção ainda não havia iniciado, os grupos também podiam ser considerados semelhantes. Portanto, para eliminar qualquer dúvida, fez-se também o teste t para amostras emparelhadas, que mostrou o mesmo resultado do teste para amostras independentes. Por uma questão de coerência (quanto a repetição de informações), no capítulo que trata dos resultados, o teste apresentado foi aquele para amostras independentes.

comparar grupos que no ponto de partida apresentassem diferenças estatísticas de desempenho, (Tuckman, 2012).

Quanto à variável ganho (G), o objetivo foi obter informações quantitativas sobre o desempenho nos dois grupos considerando o antes e o depois da intervenção. Em seguida, através da comparação estatística entre os grupos, encontrar argumentos principalmente quantitativos, mas também qualitativos, que suportassem as discussões posteriores a respeito da eficácia do método/ferramenta como complemento ao ensino em sala de aula com métodos tradicionais, objetivando a melhoria do aprendizado conceitual de ótica.

O ganho (G) foi apresentado no trabalho de Richard Hake como uma medida para a eficácia da instrução (*effectiveness of instruction*), (Hake, 1998), (Knight, 2004), (Mazur, 2014), levando em conta o conhecimento prévio dos estudantes e o aumento possível e aprendizagem face a esse conhecimento prévio; é, portanto, uma variável de interpretação estatística. A expressão matemática que a caracteriza é:

$$G = \frac{\text{posttest average \%} - \text{pretest average \%}}{100 - \text{pretest average \%}} = \text{fraction of the maximum possible gain}$$

Em que, “*posttest average %*” é a média percentual do pós-teste, e “*pretest average %*” é a média percentual do pré-teste.

O ganho (G) pode assumir valores entre 0 e 1, em que no primeiro caso significa que a média do pós-teste é igual a média do pré-teste, e o segundo valor obtém-se quando a média do pós-teste é de 100 por cento (ou seja, o número de acertos é máximo). Em geral, o valor do ganho é apresentado na forma percentual.

É importante notar que o ganho é um dado quantitativo que mostra o desempenho dos estudantes com base no máximo ganho possível, ou seja, não considera apenas o ganho absoluto que é dado como nº acertos pós teste subtraído do nº acertos no pré-teste, que como visto anteriormente é o numerador da equação usada para medir G. Por exemplo, se um estudante em um teste de 10 questões acerta 4 no pré-teste e acerta 7 no pós-teste, seu **ganho absoluto é de 3**, enquanto **G = 0,50 (50%)**; já um segundo estudante que acerta 8 no pré-teste e 9 no pós-teste tem, portanto, **ganho absoluto de 1 e G = 0,50 (50%)**. Este exemplo mostra que tomando como base apenas o ganho absoluto se concluiria de forma equivocada que o primeiro estudante teve melhor desempenho do que o segundo, porém, através da verificação de G é possível ver que ambos tiveram o mesmo desempenho **dentro daquilo que era possível para cada um**.

Tanto para o pré-teste como para o ganho, as interpretações dos testes t foram apoiadas ainda pelos gráficos de perfil, caixas de bigodes, valores calculados para o intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias e pela comparação com os valores da tabela das distribuições t ou normal.

3.4.3.3.1 Teste t – pré-teste

Para a verificação da igualdade de desempenho do grupo experimental e controle no momento inicial da investigação, foram gerados através do IBM SPSS *Statistics* o gráfico de perfil e as caixas de bigodes. Porém, estas informações por si só não foram suficientes para conclusões mais precisas a respeito da igualdade de desempenho entre os grupos, sendo, portanto, necessário a utilização do método estatístico t de Student para a comparação das médias.

Para a utilização do método foi necessário inicialmente verificar a igualdade de variâncias das distribuições, sendo esta feita através do teste de Levene, onde as hipóteses testadas foram, (Pestana & Gageiro, 2014):

$H_0: \sigma^2_{\text{experimental}} = \sigma^2_{\text{controle}}$, onde σ^2 é a variância do número de acertos no pré-teste.

$H_a: \sigma^2_{\text{experimental}} \neq \sigma^2_{\text{controle}}$

Tendo sido confirmada a hipótese nula, realizou-se o teste t de Student para amostras independentes, considerando o fator tratamento (experimental e controle) e a variável métrica **nº de acertos no pré-teste**. Nesta etapa, as hipóteses testadas foram, (Pestana & Gageiro, 2014):

$H_0: \mu_{\text{experimental}} = \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental é estatisticamente igual a média do grupo controle.

$H_a: \mu_{\text{experimental}} \neq \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental difere estatisticamente da média do grupo controle.

Onde μ é a média para a variável métrica **nº de acertos no pré-teste**.

Após análise utilizando os dados da tabela das distribuições t ou normal, concluiu-se que as médias dos grupos experimental e controle para a variável métrica **nº de acertos no pré-teste**, foram estatisticamente iguais no momento inicial da investigação²¹. A mesma conclusão foi alcançada pela verificação do intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias.

²¹ Esta informação será melhor tratada no capítulo que apresenta os resultados (4). Citá-la aqui nesta subseção foi necessário por ser justificativa imprescindível para prosseguimento dos procedimentos experimentais.

Esta informação garantiu estatisticamente que os grupos, experimental e controle, tiveram o mesmo desempenho no momento inicial da investigação. Com isso, tornou-se metodologicamente viável realizar futuras comparações após a intervenção experimental. Estas, foram feitas após a aplicação do pós-teste, utilizando o ganho (G) como variável quantitativa.

3.4.3.3.2 Teste t – ganho (G)

Para a variável métrica ganho, analisada em função do fator tratamento, foram calculados os seus respectivos valores para cada um dos 60 sujeitos (grupo experimental e controle). Através do “*software*” foram gerados o gráfico de perfil e as caixas de bigodes, que foram úteis para analisar as dispersões e a presença de “*outliers*”.

Para interpretar²² os resultados obtidos através do teste t, foi realizado previamente o teste de Levene para comparação das variâncias, onde as hipóteses testadas foram, (Pestana & Gageiro, 2014):

$H_0: \sigma^2_{\text{experimental}} = \sigma^2_{\text{controle}}$, onde σ^2 é a variância da variável métrica ganho.

$H_a: \sigma^2_{\text{experimental}} \neq \sigma^2_{\text{controle}}$

Em seguida foi realizado o teste t de Student para amostras independentes, onde as hipóteses testadas em relação à média da variável **ganho (G)** foram, (Pestana & Gageiro, 2014):

²² O teste t de Student realizado pelo IBM SPSS retorna dois resultados: para variâncias consideradas iguais e consideradas diferentes.

H_0 : $\mu_{\text{experimental}} = \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental é estatisticamente igual a média do grupo controle.

H_a : $\mu_{\text{experimental}} \neq \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental difere estatisticamente da média do grupo controle.

Onde μ é a média para a variável métrica **ganho (G)**.

Para conclusões em relação à diferença ou igualdade das médias da variável métrica ganho (G) para os grupos de tratamento, foram feitas análises utilizando os valores estatísticos calculados pelo IBM SPSS (por exemplo, estatísticas descritivas, variâncias e teste t). Os dados puderam, também, ser interpretados com o auxílio da tabela das distribuições t ou normal, através do intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias, assim como, através do nível de confiança verificado através do cálculo do d de Cohen e análise da tabela da função potência. Finda esta etapa, o próximo passo foi analisar os resultados comparando-os com outras investigações e teorias apresentadas na literatura.

4 Resultados

4.1 Testes de normalidade, simetria e achatamento

Considerando o tratamento dado para os grupos na investigação, estes foram divididos em experimental e controle, onde ambos eram formados por amostras de tamanho 30, (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-1). Neste caso, para amostras com tal dimensão, exigiu-se como pressuposto para aplicação do teste paramétrico t de Student que a distribuição amostral fosse normal ou pelo menos simétrica e mesocúrtica (mesmo achatamento que a normal) em cada um dos grupos para cada variável métrica medida no estudo.

A verificação da normalidade foi feita através dos testes de aderência: teste não paramétrico de aderência à normal Kolmogorov-Smirnov com a correção de Lilliefors e teste Shapiro-Wilk. O objetivo dos testes de aderência a normalidade foi escolher com o menor erro entre as hipóteses²³ nula (H_0) e alternativa (H_a):

H_0 : A distribuição da variável métrica é igual à normal.

H_a : A distribuição da variável métrica não é igual à normal.

Os resultados foram interpretados de dois modos diferentes: primeiro de forma expedita através da verificação do nível de significância associado a cada um dos testes de normalidade, depois consultando as tabelas Quantis das estatísticas de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk para uma amostra (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-20 e Tabela 8-21) (Portal Action, 2017).

²³ Hipóteses exaustivas e mutuamente exclusivas.

Para a análise através do nível de significância associado a cada teste de normalidade, considerando um erro tipo I de 0,05, rejeitou-se H_0 para significância $\leq 0,05$, não se rejeitando para significância $> 0,05$ (Pestana & Gageiro, 2014).

Utilizando o “*software*” SPSS, obteve-se para cada um dos grupos de tratamento os valores para a assimetria e curtose das distribuições da variável métrica. Estes valores foram importantes para conclusões acerca da simetria e achatamento. O primeiro foi calculado através do quociente entre o valor da assimetria e seu erro padrão. Já o segundo, através do quociente entre a curtose e seu erro padrão (Pestana & Gageiro, 2014).

4.1.1 Testes de normalidade, simetria e achatamento para as distribuições das variáveis métricas em função do fator tratamento

A significância retornada pelo SPSS para cada teste de normalidade (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-10, Tabela 8-11 e Tabela 8-12) teve como resultado:

Tabela 4-1. Resultados retornados pelo SPSS para o nível de significância nos testes de normalidade.

| TESTES | GRUPOS E RESULTADOS | VARIÁVEIS MÉTRICAS | | |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------|
| | | Nº de acertos no pré-teste | Nº de acertos no pós-teste | Ganho |
| Teste de Kolmogorov-Smirnov | Grupo experimental | 0,003 | 0,012 | 0,001 |
| | RESULTADO | H_a | H_a | H_a |
| | Grupo controle | 0,051 | 0,004 | 0,019 |
| | RESULTADO | H_0 | H_a | H_a |
| Teste de Shapiro-Wilk | Grupo experimental | 0,014 | 0,057 | 0,015 |
| | RESULTADO | H_a | H_0 | H_a |
| | Grupo controle | 0,094 | 0,022 | 0,103 |
| | RESULTADO | H_0 | H_a | H_0 |

Consultando as tabelas Quantis verificou-se para o teste Kolmogorov-Smirnov ($n = 30$ e $\alpha = 0,05$) um nível de significância 0,24. Logo, teve-se como regiões de aceitação e de rejeição da hipótese nula: $RA^{24} = [0; 0,24[$ e $RCUD^{25} = [0,24; 1]$. Para o teste Shapiro-Wilk ($n = 30$ e $\alpha = 0,05$) o nível de significância foi 0,927. Logo, as regiões de aceitação e de rejeição da hipótese nula foram: $RA = [0; 0,927[$ e $RCUD = [0,927; 1]$.

Considerando os intervalos referidos anteriormente e as estatísticas dos testes de normalidade retornados pelo SPSS (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-10, Tabela 8-11 e Tabela 8-12), a tabela a seguir mostra os resultados obtidos:

Tabela 4-2. Estatísticas retornadas pelo SPSS nos testes de normalidade e resultados da comparação com as tabelas Quantis.

| TESTES | GRUPOS E RESULTADOS | VARIÁVEIS MÉTRICAS | | |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| | | Nº de acertos no pré-teste | Nº de acertos no pós-teste | Ganho |
| Teste de Kolmogorov-Smirnov | Grupo experimental | 0,204 | 0,183 | 0,218 |
| | RESULTADO | H₀ | H₀ | H₀ |
| | Grupo controle | 0,159 | 0,200 | 0,176 |
| | RESULTADO | H₀ | H₀ | H₀ |
| Teste de Shapiro-Wilk | Grupo experimental | 0,909 | 0,932 | 0,910 |
| | RESULTADO | H₀ | H_a | H₀ |
| | Grupo controle | 0,941 | 0,917 | 0,942 |
| | RESULTADO | H_a | H₀ | H_a |

Ainda com o intuito de apoiar a decisão sobre a normalidade das distribuições das variáveis métricas levando-se em conta o fator tratamento, foram construídos os histogramas sobrepostos à curva normal para cada um dos grupos de tratamento (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-3, Gráfico 8-4, Gráfico 8-11, Gráfico 8-12, Gráfico 8-18 e Gráfico 8-19). Também foram gerados

²⁴ A sigla RA significa Região de Aceitação de H₀.

²⁵ A sigla RCUD significa Região Crítica Unilateral Direita.

os gráficos complementares Q-Q e Q-Q Normal sem Tendência (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-5, Gráfico 8-6, Gráfico 8-7, Gráfico 8-8, Gráfico 8-13, Gráfico 8-14, Gráfico 8-15, Gráfico 8-16, Gráfico 8-20, Gráfico 8-21, Gráfico 8-22 e Gráfico 8-23).

A comparação dos histogramas com a curva normal mostrou a existência de desvios, que vistos através dos gráficos Q-Q e Q-Q Normal sem Tendência não pareceram ser demasiado significativos, ou seja, visualmente verificou-se que os pontos não se afastaram consideravelmente da reta Q-Q e que estavam distribuídos aleatoriamente em volta da reta Q-Q Normal sem Tendência.

Com exceção parcial da variável métrica **ganho**, apenas para a mediana do fator controle, foi possível verificar a proximidade entre os valores calculados para a média simples e aparada, mediana e os estimadores da máxima verossimilhança (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-2, Tabela 8-3, Tabela 8-4, Tabela 8-5, Tabela 8-6 e Tabela 8-7). Portanto, os desvios não causaram diferenças entre estas medidas de tendência central que pudessem ser consideradas significativas, o que seria indício de grande dispersão dos valores.

Através das caixas de bigodes geradas para cada uma das distribuições (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-9, Gráfico 8-17 e Gráfico 8-24), foi observado apenas um “*outlier*” moderado (observação aberrante indicada através de um pequeno círculo, Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-24) para a variável métrica “ganho” considerando o tratamento experimental. No entanto, ao comparar-se as estatísticas descritivas para o grupo experimental com e sem “*outlier*” (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-6 e Tabela 8-13) verificou-se a semelhança entre os valores, denotando, portanto, pouca influência deste único ponto aberrante sobre a distribuição.

Com base nos resultados para avaliação da normalidade descritos até aqui, foi possível concluir que não houve unanimidade quanto às hipóteses aceitas. Apesar de que não haveriam impedimentos severos para a escolha da hipótese nula (H_0), como por exemplo, distribuições demasiado enviesadas ou discrepantes com e sem “*outliers*”. Porém, para reforçar ainda mais a escolha dos métodos estatísticos paramétricos para estudo dos dados, foram feitas análises de simetria e achatamento, já que estes também podem ser usados como pressupostos para a escolha entre métodos paramétricos e não paramétricos.

As hipóteses²⁶ nula e alternativa testadas para a simetria e achatamento foram:

H_0 : A distribuição da variável métrica é simétrica e mesocúrtica.

H_a : A distribuição da variável métrica não é simétrica e mesocúrtica.

Para um nível de significância $\alpha = 0,05$, os valores para a simetria e o achatamento quando situados no intervalo $[-1,96; +1,96]$, indicam que a distribuição pode ser considerada simétrica e mesocúrtica (Pestana & Gageiro, 2014). A tabela a seguir mostra os valores obtidos para a simetria e achatamento:

Tabela 4-3. Valores da simetria e achatamento para as distribuições das variáveis métricas em função do tipo de tratamento.

| GRUPOS E RESULTADOS | | VARIÁVEIS MÉTRICAS | | |
|---------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|--|
| | | Nº de acertos no pré-teste | Nº de acertos no pós-teste | Ganho |
| Grupo experimental | Simetria | 1,03 | - 1,57 | - 2,46 |
| | Achatamento | - 0,98 | - 0,37 | 0,97 |
| RESULTADO | | H_0 | H_0 | H_a e H_0 |
| Grupo controle | Simetria | - 0,98 | 1,47 | - 1,0 |
| | Achatamento | - 0,34 | 1,00 | - 0,019 |
| RESULTADO | | H_0 | H_0 | H_0 |

²⁶ Hipóteses exaustivas e mutuamente exclusivas.

Com exceção para a simetria da distribuição da variável métrica “ganho” para o grupo experimental, verificou-se através dos resultados obtidos que a simetria e o achatamento das distribuições das demais variáveis métricas em função do fator tratamento, pertencem ao intervalo de aceitação de H_0 . Em outras palavras, os resultados atenderam, pelo menos para as duas primeiras variáveis métricas e para a distribuição do ganho do grupo controle, à premissa de simetria e achatamento iguais à normal para utilização dos testes paramétricos t de Student.

Ao calcular o valor para a simetria da distribuição do ganho para o grupo experimental sem “outlier”, o resultado foi $-1,56$. Portanto, caso este ponto fosse desconsiderado, a distribuição poderia ser dita sem dúvidas simétrica à normal, não havendo, portanto, impedimento à utilização de métodos estatísticos paramétricos para análise da distribuição, caso apenas este fator fosse considerado para a tomada de decisão.

Anteriormente foi mostrado que o “outlier” existente no grupo experimental para a variável ganho, não modificou as medidas estatísticas que descrevem a distribuição. Assim, para utilizar métodos estatísticos mais robustos (testes paramétricos t de Student) para analisá-la, a decisão quanto a normalidade foi tomada com base nos resultados retornados pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk (Tabela 4-2) que para o grupo experimental garantem a consideração da hipótese nula.

4.2 Testes t de Student

4.2.1 Testes t para análise do mesmo grupo de tratamento em momentos distintos

No teste t para amostras emparelhadas o objetivo foi comparar as médias obtidas pelo mesmo grupo de tratamento (experimental e controle) em momentos diferentes (pré e pós-teste),

permitindo assim obter indícios que apontassem para a relevância da realização de análises/comparações de resultados entre os dois grupos de tratamento.

Para que o emparelhamento fosse considerado útil foi necessário verificar a existência de correlação linear entre os valores obtidos por cada grupo no pré e pós-teste. Tal condição, por reduzir a dispersão dos dados, foi um pré-requisito essencial para a realização do teste t para amostras emparelhadas.

Por conta de ambas as variáveis (nº acertos no pré e pós-teste) serem quantitativas foi calculado o coeficiente de correlação R de Pearson. Os valores obtidos para R foram $-0,078$ e $0,389$ relativos ao grupo experimental e controle (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-14, Tabela 8-15). No primeiro caso como $|R| < 0,2$ a correlação da associação linear foi classificada como muito fraca, não sendo, portanto, considerada significativa (Pestana & Gageiro, 2014). Porém, no segundo caso a associação foi significativa

Tabela 8-15), sendo que por conta da influência de fatores comportamentais (por exemplo, o grau de concentração dos estudantes) nos valores das variáveis, pôde-se considerar elevado um valor de R no intervalo $0,3 \leq |R| \leq 0,5$ (Cohen, 2013).

Através dos valores obtidos, decidimos pela não utilização do teste t para amostras emparelhadas para se comparar as médias do pré e pós-teste do grupo experimental, já que não teria utilidade por não haver correlação entre as duas médias (entre as duas variáveis). Deste modo, optou-se por analisar os dois momentos distintos para este grupo através do teste t para amostras independentes, garantindo assim uma redução do efeito da dispersão dos dados.

4.2.1.1 Teste t para amostras independentes para o grupo experimental

Considerando as pontuações do grupo experimental no pré e pós-teste, o teste t de Student para amostras independentes teve como objetivo comparar as respectivas médias, a fim de concluir sobre a sua igualdade ou diferença estatística significativa.

O gráfico de perfil indicou que a média para o pós-teste foi visualmente maior do que para o pré-teste (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-27).

Analisando visualmente a altura das caixas de bigodes (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-28, Gráfico 8-9) verificou-se existir maior dispersão para as pontuações obtidas no pós-teste, além de constatar a não existência de “*outliers*” entre os dados. Verificou-se ainda que as variâncias para as pontuações nos dois momentos apresentaram valores distintos (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-2, Tabela 8-4). A análise sobre a igualdade das dispersões foi feita através do teste de Levene, onde as hipóteses testadas foram:

$H_0: \sigma^2_{\text{pré}} = \sigma^2_{\text{pós}}$, onde σ^2 é a variância.

$H_a: \sigma^2_{\text{pré}} \neq \sigma^2_{\text{pós}}$

A significância associada ao teste de Levene, com $F = 3,123$, foi superior a 0,05 (Anexo 3 – resultados estatísticos,

Tabela 8-17). Este resultado, com um erro $p \leq 0,001$, permitiu considerar válida a hipótese nula, ou seja, estatisticamente as variâncias (portanto, a dispersão) para o pré e pós-teste não diferem significativamente (Pestana & Gageiro, 2014).

Para o teste t de Student para amostras independentes, as hipóteses testadas foram:

$H_0: \mu_{\text{pré}} = \mu_{\text{pós}}$, considerando o grupo experimental, a média do pré-teste é estatisticamente igual a média do pós-teste.

$H_a: \mu_{\text{pré}} \neq \mu_{\text{pós}}$, considerando o grupo experimental, a média do pré-teste difere estatisticamente da média do pós-teste.

Consultando a tabela das distribuições t ou normal para infinitos graus de liberdade e para $\alpha = 0,05$, obteve-se as seguintes regiões críticas e de aceitação (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-22):

$RCB^{27} =]-\infty; -1,96[\cup]1,96; +\infty[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo rejeita-se a hipótese nula.

$RA^{28} =]-1,96; 1,96[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo não se rejeita a hipótese nula.

O valor do teste t para variâncias iguais assumidas foi 7,208 (Anexo 3 – resultados estatísticos,

Tabela 8-17); portanto pertencente a região crítica bilateral. Logo, concluiu-se que estatisticamente as médias do pré e pós-teste do grupo experimental diferem significativamente.

²⁷ Região Crítica Bilateral

²⁸ Região de Aceitação

A confirmação da rejeição de H_0 também pôde ser verificada através do intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias, a saber no intervalo] 3,106; 5,494[. Este intervalo não incluiu o valor zero, o que corresponde a não aceitar a igualdade estatística das médias (Pestana & Gageiro, 2014).

A diferença de 4,3 entre as médias foi considerada estatisticamente significativa, ou seja, concluiu-se que em média a pontuação do grupo experimental no pós-teste foi muito maior do que a do pré-teste e os resultados obtidos são estatisticamente diferentes. Portanto, as medidas de aprendizagem feitas pelo teste usado, revelaram que houve variações relevantes na aprendizagem dos alunos.

Consultando a tabela 2.3.5 da função potência para $n = 30$, $\alpha = 0,05$ e $d = 1,86$ (*large effect size*), (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-23) (Cohen, 2013), verificou-se que a probabilidade de aceitação de H_a (confiança com que se rejeita H_0) foi maior que 99,5%, o que confere uma grande confiança para afirmar que no grupo experimental a média do pós-teste foi significativamente diferente (muito maior) do que no pré-teste. Para o cálculo de d utilizou-se a equação de Cohen (Cohen, 2013) para $\sigma_A \neq \sigma_B$ e $n_A = n_B$:

$$d = \frac{|m_A - m_B|}{\sigma'} \quad (1)$$

Onde:

m_A = média do grupo A

m_B = média do grupo B

σ' = raiz quadrada da média de duas variâncias

Sendo a equação da raiz quadrada da média de duas variâncias (Cohen, 2013) dada por:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}{2}} \quad (2)$$

4.2.1.2 Teste t para amostras emparelhadas para o grupo controle

O diagrama de dispersão mostrou uma relação linear para as variáveis nº de acertos no pré e pós-teste para o grupo controle (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-26). A confirmação desta relação entre as variáveis permitiu calcular o R de Pearson ($R = 0,389$), que se mostrou significativo, possibilitando concluir que em média quanto maior a nota no pré-teste, maior a nota no pós-teste (relação linear positiva). O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,151 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-26), ou seja, em média 15,1% da variação de uma variável é explicada pela outra.

Para o grupo controle, as médias do pré e pós-teste foram 3,57 e 4,00 respectivamente (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-2, Tabela 8-4). Nas mesmas tabelas é possível ver que os desvios padrões da média e os erros padrões da média apresentam valores semelhantes em ambas distribuições.

Considerando o teste t para amostras emparelhadas, Pestana e Gageiro (2014) esclarecem que:

O teste t para amostras emparelhadas compara o valor zero com a média das diferenças entre os pares das observações de duas variáveis, o que equivale a considerar que não há modificação significativa nos valores desses pares entre os dois momentos (Pestana & Gageiro, 2014).

Portanto, as hipóteses testadas foram:

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_a: \mu_d \neq 0; \mu_d > 0 \text{ ou } \mu_d < 0.$$

Como a hipótese alternativa incluiu o sinal de diferente, a região crítica das distribuições foi bilateral.

Consultando o teste t para amostras emparelhadas para o grupo controle, é possível constatar que a média das diferenças foi de $-0,433$ (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-16). O sinal negativo indica que houve um aumento da pontuação no pós-teste, embora que pequena.

O nível de significância associado ao teste foi de $0,162$, portanto, considerando um erro $p \leq 0,05$, os dados suportaram a hipótese nula (H_0). Este fato também pôde ser constatado através do intervalo de confiança calculado, $-1,051$ até $0,184$, que incluiu o zero, confirmando a aceitação da hipótese nula (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-16).

O resultado de aceitação da hipótese nula também foi confirmado através da comparação do resultado do teste (t) com os valores apresentados na tabela das distribuições t (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-22). Para um nível de significância igual a $0,05$ as regiões crítica e de aceitação foram:

$RCB^{29} =]-\infty; -2,045[\cup [2,045; +\infty[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo rejeita-se a hipótese nula.

²⁹ Região Crítica Bilateral

$RA^{30} =] - 2,045; 2,045[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo não se rejeita a hipótese nula.

Portanto, como o resultado do teste foi $t = - 1,435$ (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-16), valor que se encontra na região de aceitação, não se deve rejeitar a hipótese nula. Assim, o resultado do teste t para amostras emparelhadas mostrou que estatisticamente não houve diferença entre as médias do pré e pós-teste para o grupo controle. Ou seja, pelas medidas de aprendizagem obtidas através do teste utilizado na investigação, não se verificaram variações relevantes na aprendizagem dos alunos. Este resultado pode ter várias interpretações: 1. Os alunos do grupo controle não revelaram ter obtido um efetivo aumento da aprendizagem pela instrução que receberam durante as aulas; 2. O teste não teve poder discriminante suficiente para revelar, em detalhe, toda a evolução da aprendizagem dos alunos. Neste caso, apenas variações significativas são registadas.

4.2.2 Testes t para amostras independentes

O teste t de Student para amostras independentes teve como principal objetivo comparar as médias das variáveis métricas relativamente ao pré-teste e ao ganho, considerando o fator tratamento. No primeiro caso o objetivo foi verificar a igualdade ou desigualdade no desempenho dos dois grupos no momento inicial da investigação. No segundo, foi comparar as médias relativamente ao ganho para posteriores conclusões acerca da eficiência do tratamento experimental.

4.2.2.1 Testes t – pré-teste

³⁰ Região de Aceitação

O gráfico de perfil sugere que a média para a variável métrica no grupo controle foi um pouco maior do que no grupo experimental (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-10). No entanto, os valores calculados para as médias não pareceram diferir significativamente (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-2). Chegar a uma conclusão a este respeito foi primordialmente necessária, visto ser óbvio que para comparar os resultados do desempenho dos dois grupos em momento posterior à intervenção, estes deveriam apresentar igualdade no ponto de partida.

Apenas analisando visualmente a altura das caixas de bigodes (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-9) não foi possível inferir sobre diferenças significativas nas dispersões da variável métrica considerada no pré-teste. Porém, verificou-se que as variâncias para os dois grupos apresentaram valores distintos (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-2). A análise sobre a igualdade das dispersões foi feita através do teste de Levene, onde as hipóteses testadas foram:

$H_0: \sigma^2_{\text{experimental}} = \sigma^2_{\text{controle}}$, onde σ^2 é a variância do número de acertos no pré-teste.

$H_a: \sigma^2_{\text{experimental}} \neq \sigma^2_{\text{controle}}$

A significância associada ao teste de Levene, com $F = 1,649$, foi superior a 0,05 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-18). Este resultado, com um erro $p \leq 0,001$, permitiu considerar válida a hipótese nula, ou seja, estatisticamente as variâncias (portanto, a dispersão) dos dois grupos não diferem significativamente (Pestana & Gageiro, 2014).

Para o teste t de Student para amostras independentes, considerando o fator tratamento e a variável métrica **nº de acertos no pré-teste**, as hipóteses foram:

$H_0: \mu_{\text{experimental}} = \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental é estatisticamente igual à média do grupo controle.

$H_a: \mu_{\text{experimental}} \neq \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental difere estatisticamente da média do grupo controle.

Onde μ é a média para a variável métrica **nº de acertos no pré-teste**.

Consultando a tabela das distribuições t ou normal para infinitos graus de liberdade e para $\alpha = 0,05$, obteve-se as seguintes regiões críticas e de aceitação (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-22):

$RCB^{31} =]-\infty; -1,96[\cup]1,96; +\infty[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo rejeita-se a hipótese nula.

$RA^{32} =]-1,96; 1,96[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo não se rejeita a hipótese nula.

O valor do teste t para variâncias iguais assumidas foi 0,452 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-18); portanto pertencente à região de aceitação. Logo, concluiu-se que as médias dos grupos experimental e controle para a variável métrica **nº de acertos no pré-teste** não diferem significativamente.

A confirmação da aceitação de H_0 também pôde ser verificada através do intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias, a saber $] -0,686; 1,086[$. Este intervalo incluiu o valor zero, o que corresponde a aceitar a igualdade estatística das médias (Pestana & Gageiro, 2014).

4.2.2.2 Teste t - ganho

³¹ Região Crítica Bilateral

³² Região de Aceitação

Considerando a variável métrica **ganho** e o fator tratamento, o gráfico de perfil mostrou que a média no grupo experimental foi muito maior do que no grupo controle (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-25). Através das caixas de bigodes foi possível confirmar visualmente diferenças nas dispersões, sendo que a do grupo experimental foi maior que a do grupo controle (Anexo 3 – resultados estatísticos, Gráfico 8-24). Além disso, os mesmos gráficos também mostraram um “*outlier*” moderado no grupo experimental. Também foram constatadas diferenças para os valores calculados para as variâncias dos dois grupos, sendo respectivamente 0,119 e 0,035 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-6).

O teste de Levene para igualdade das variâncias permitiu verificar se esta diferença foi significativa. Com este propósito, as hipóteses testadas foram:

$H_0: \sigma^2_{\text{experimental}} = \sigma^2_{\text{controle}}$, onde σ^2 é a variância da variável métrica **ganho**.

$H_a: \sigma^2_{\text{experimental}} \neq \sigma^2_{\text{controle}}$

A significância associada ao teste de Levene, com $F = 10,372$, foi 0,002 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-19), portanto inferior a 0,05. Este resultado, com um erro $p \leq 0,001$, mostrou que os dados não suportaram a hipótese nula, ou seja, estatisticamente o grupo experimental teve dispersão para a variável métrica **ganho** significativamente diferente (neste caso, maior) do que a do grupo controle.

O número de graus de liberdade do teste t para variâncias diferentes foi 44,606, inferior, portanto, ao número para variâncias iguais assumidas, que foi 58. Assim, a diminuição na dimensão da amostra foi de 23,1% ($1 - 44,606/58$).

Para o teste t de Student para amostras independentes, considerando o fator tratamento e a variável métrica **ganho**, as hipóteses foram:

H_0 : $\mu_{\text{experimental}} = \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental é estatisticamente igual a média do grupo controle.

H_a : $\mu_{\text{experimental}} \neq \mu_{\text{controle}}$, a média do grupo experimental difere estatisticamente da média do grupo controle.

Onde μ é a média para a variável métrica **ganho**.

Consultando a tabela das distribuições t ou normal para infinitos graus de liberdade e para $\alpha = 0,05$, obtiveram-se as seguintes regiões críticas e de aceitação (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-22):

$RCB^{33} =]-\infty; -1,96[\cup]1,96; +\infty[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo rejeita-se a hipótese nula.

$RA^{34} =]-1,96; 1,96[$; onde, para valores pertencentes a este intervalo não se rejeita a hipótese nula.

O valor do teste t para variâncias iguais não assumidas foi 5,420 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-19), pertencente a região crítica bilateral (RCB). Logo, concluiu-se que as médias dos grupos experimental e controle para a variável métrica **ganho** diferem significativamente.

A confirmação da rejeição de H_0 também pôde ser verificada através do intervalo de confiança a 95% para a diferença das médias, a saber $]0,244; 0,531[$ (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-19). Este intervalo não incluiu o valor zero, o que corresponde a não aceitar a igualdade estatística das médias (Pestana & Gageiro, 2014).

³³ Região Crítica Bilateral

³⁴ Região de Aceitação

A diferença de 0,39 entre as médias foi considerada estatisticamente significativa, ou seja, concluiu-se que em média o ganho do grupo experimental foi muito maior do que o do grupo controle. Com 95% de confiança os ganhos do grupo experimental foram superiores aos do grupo controle, entre 0,244 e 0,531 (Anexo 3 – resultados estatísticos, Tabela 8-19).

Consultando a tabela 2.3.5 da função potência para $n = 30$, $\alpha = 0,05$ e $d = 1,4$ (*large effect size*), (Anexo 4 – tabelas estatísticas, Tabela 8-23), (Cohen, 2013), verificou-se que a probabilidade de aceitação de H_a (confiança com que se rejeita H_0) foi maior que 99,5%, o que permite uma grande confiança para afirmar que o grupo experimental obteve resultados significativamente melhores do que o grupo controle no que se refere a variável métrica ganho. Para o cálculo de d utilizou-se a equação de Cohen para $\sigma_A \neq \sigma_B$ e $n_A = n_B$ (Cohen, 2013).

O valor elevado de d (*effect size*) parece confirmar as nossas suspeitas de que o teste utilizado carece de maior poder discriminante, para que assim possa avaliar com mais detalhe a evolução das aprendizagens dos alunos. Em casos desse tipo, é de esperar que apenas sejam visíveis variações significativas na aprendizagem, pelo que os resultados podem ser bastante próximos de uma dicotomia aprendeu/não aprendeu. Porém, não resta dúvida que os resultados parecem confirmar uma significativa diferença nas aprendizagens dos alunos do grupo experimental (mostrando o poder da ferramenta associada ao método), considerando as métricas do teste utilizado, pecando apenas pela disparidade dos ganhos medidos.

4.3 Tabela com resumo dos resultados quantitativos obtidos na investigação

A tabela a seguir resume os principais resultados quantitativos obtidos na investigação. A discussão será feita levando-se em consideração estes resultados:

Tabela 4-4. Tabela com resumo dos resultados quantitativos obtidos na investigação.

| | |
|---|--|
| <p>TESTES DE NORMALIDADE, SIMETRIA E ACHATAMENTO</p> | <p>As distribuições para as variáveis métricas nº de acertos no pré e pós-teste, além do ganho (G), foram consideradas normais. Porém, não houve unanimidade nos testes realizados para verificar este parâmetro (Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk). Por conta disto foi verificada, também, a simetria e o achatamento das distribuições das variáveis métricas, sendo os resultados satisfatórios.</p> <p>Verificou-se a presença de “<i>outlier</i>” para a variável métrica ganho (G). Após a comparação das estatísticas descritivas com e sem “<i>outlier</i>”, concluiu-se que não havia diferença entre os valores calculados.</p> <p>Conclusão: As distribuições das três variáveis métricas (nº de acertos no pré e pós-teste e ganho (G)) poderiam ser utilizadas para testes estatísticos paramétricos.</p> |
| <p>TESTES t PARA ANÁLISE DO MESMO GRUPO DE TRATAMENTO, EM MOMENTOS DISTINTOS</p> | <p>Grupo experimental: concluiu-se que estatisticamente as médias do pré e pós-teste do grupo experimental diferiam significativamente. Ou seja, a média do pós-teste para o grupo experimental foi considerada diferente (e maior) do que a média alcançada por estes no pré-teste.</p> <p>Grupo controle: concluiu-se que estatisticamente as médias do pré e pós-teste</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>do grupo controle, embora com evolução positiva, não diferiam significativamente.</p> <p>Conclusão: Considerando as médias para o pré e pós-teste, houve evolução significativa dentro do grupo experimental. Portanto, os resultados do teste usado para diagnóstico de aprendizagens revelam que a evolução do grupo experimental foi muito diferente da do grupo controle.</p> |
| <p>TESTES t PARA AMOSTRAS INDEPENDENTES</p> | <p>Testes t – pré-teste: Após a realização dos testes estatísticos, concluiu-se que as médias dos grupos experimental e controle para a variável métrica nº de acertos no pré-teste não diferiam significativamente. A verificação desta premissa (desempenho quantitativamente igual no ponto de partida) foi necessária para realizar testes estatísticos de comparação entre os dois grupos.</p> <p>Testes t – ganho: Após a realização dos testes estatísticos, concluiu-se que as médias dos grupos experimental e controle para a variável métrica ganho diferiam significativamente. Ou seja, considerando o desempenho possível (G) para cada grupo, a média do grupo experimental foi estatisticamente superior à do grupo controle.</p> |
| <p>CONCLUSÃO GERAL</p> | <p>Os resultados sugerem que as atividades do “<i>kit Photonics Explorer</i>” exploradas com inspiração numa metodologia “<i>Inquiry-Based Learning</i>”, usadas como complemento ao ensino de ótica no 8º ano do nível Básico,</p> |

foram significativamente vantajosas para o grupo experimental. Embora seja um fato que os alunos que habitualmente frequentam os clubes de ciências são também aqueles com maior motivação nessa área (mas não necessariamente com as melhores classificações em ciências), estes resultados apontam para um ganho de aprendizagem considerável. Podemos, assim, concluir que para os alunos do grupo experimental, a intervenção produziu um complemento significativo na aprendizagem da ótica, levando-nos a considerar que se o resultado for extrapolável, então este “*kit*” e a correspondente abordagem metodológica poderão contribuir para uma melhor aprendizagem da ótica, pelo menos quando usado em clubes de ciências.

No entanto, apontamos para a importância de considerar na avaliação dos resultados quantitativos as limitações do próprio estudo, ou seja, as **estatísticas devem ser interpretadas como resultados positivos de aprendizagem e não como resultados matematicamente absolutos.**

5 Discussão dos resultados

5.1 Resumo das conclusões para as hipóteses da investigação

Constatou-se, através dos resultados, que apesar dos estudantes do grupo controle (ensino e aprendizagem de ótica apenas por métodos tradicionais na sala de aula) terem obtido rendimento absoluto médio positivo no teste conceitual de ótica aplicado, este não foi estatisticamente significativo, ao contrário do grupo experimental (instrução por “*Inquiry*” com utilização do “*Photonics Explorer*” como complemento do ensino tradicional em sala de aula), o qual também foi positivo, porém **estatisticamente significativo**.

Indo além da análise dos resultados absolutos, considerou-se também a variável Ganho de aprendizagem. Os resultados da investigação mostram que a média para o Ganho obtido no grupo experimental foi muito maior do que aquela obtida pelo grupo controle, sendo constatada uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Ou seja, os estudantes que tiveram um ensino e aprendizagem de ótica complementado através da ferramenta “*Photonics Explorer*” com instrução por “*Inquiry-Based Learning*” evoluíram, em relação aquilo que era possível, muito mais do que aqueles submetidos a um ensino e aprendizagem apenas por métodos tradicionais na sala de aula.

Os resultados desta investigação indicaram, tal como se esperava, que o ensino da ótica apoiado adequadamente por uma instrução complementar do tipo “*Inquiry-Based Learning*”

associada à ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*”, gera efeitos positivos nos estudantes do Nível Básico de escolas públicas, nomeadamente na aprendizagem conceitual e desenvolvimento de competências para a resolução de problemas.

Porém, avaliando-se os valores para as diferenças estatísticas entre os grupos e tendo em conta as possíveis limitações do estudo (seção 5.6), considera-se que os resultados devam ser avaliados como demonstração positiva da intervenção utilizando-se a ferramenta e metodologia conjuntamente. Ou seja, os resultados não devem ser vistos apenas como estatísticas absolutas, já que na educação há múltiplas variáveis que se relacionam de forma complexa e que podem interferir em resultados estatísticos.

5.2 Discussão sobre a interpretação geral dos resultados da investigação

A confirmação da hipótese geral da investigação pôde ser feita com base nos dados estatísticos da “*performance*” absoluta e do Ganho obtidos a partir do teste conceitual de ótica, além das observações diretas feitas pelos investigadores ao longo de todo o processo, o qual iniciou-se no estudo da ferramenta pedagógica e do método instrucional, passando pelo teste inicial em sala de aula até a intervenção propriamente dita com a colaboração de professores do sistema escolar. Porém, o que poderia explicar o fato do “*Photonics Explorer*”, utilizado conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como complemento ao ensino tradicional da ótica, gerar resultados positivos na aprendizagem conceitual e no desenvolvimento de competências, de forma mais eficaz do que o obtido apenas por métodos tradicionais de ensino e aprendizagem aplicados na sala de aula?

A explicação começa pela visão de qual seria a forma mais eficiente de ensinar ótica nas aulas de Física. Defende-se nesta investigação, com base numa interpretação qualitativa dos resultados alcançados, que a forma mais eficiente é aquela baseada em estratégias como o

“Inquiry-Based Learning” que têm o aluno como centro do processo de ensino-aprendizagem, por permitir a construção do conhecimento por parte deste de forma ativa e significativa. Isto justifica-se pois o *“Inquiry”* permite perceber que o conhecimento adquirido nas aulas de Física não é imutável, que é passível de transferência para a solução de problemas reais, e que nasce na mente humana ou é construído a partir das observações empíricas da natureza.

Os métodos tradicionais primam pela simples transmissão e acúmulo de informações, na maioria das vezes transmitidas pelo professor de forma expositiva e não contextualizada e com mínima ou nenhuma participação do aluno (reduzidos a ouvintes). Por isso, os estudantes instruídos deste modo têm dificuldade de contextualizar o conhecimento, inter-relacionar e aplicar as informações à resolução de problemas reais, além de acreditarem que este já está completamente pronto não sendo passível de mudança. Pensamos que estes motivos contribuíram para que os estudantes do grupo controle que fizeram o teste conceitual utilizado nesta investigação (mesmo tendo um resultado médio de performance absoluto positivo) não alcançassem resultados expressivos de Ganho na aprendizagem, quando comparados àqueles que contactaram com o *“Photonics Explorer”* através da metodologia *“Inquiry-Based Learning”*.

O estudo da ótica complementado através do *“Photonics Explorer”* apoiado pela instrução por *“Inquiry”*, propiciou aos estudantes do grupo experimental o contato com rotinas e aspectos práticos do método científico, desde a formulação de problemas, geração de hipóteses, desenvolvimento de experiências, até a divulgação dos resultados obtidos. Observou-se que isto melhorou a autoestima e autonomia destes alunos, principalmente porque perceberam que suas opiniões e aquilo que produziram era considerado como importante pelo professor e pelos demais colegas, além de fazer sentido para suas vidas ao permitir uma melhor compreensão das tecnologias que estes utilizavam no seu dia-a-dia, como por exemplo, o telemóvel, a televisão, a

internet, etc. Os professores colaboradores destacaram, por exemplo, em relação aos seus alunos do grupo experimental:

“Os alunos desmonstraram grande interesse, entusiasmo e empenho na realização das atividades práticas. As discussões dos fundamentos teóricos tornaram-se muito mais interessantes, sussitando em maior participação dos estudantes” (Agrupamento de Escolas do Viso, 2016).

Perceber de forma mais clara a associação entre o conhecimento científico e suas aplicações tecnológicas, fez com que os estudantes que participaram da intervenção se interessassem pelos trabalhos com a ferramenta pedagógica *“Photonics Explorer”*. Pelo fato da tecnologia estar presente de forma intensa na vida dos jovens, observou-se que utilizá-la como mecanismo para abordagem, aplicabilidade e consequentemente aprendizagem dos conceitos científicos de ótica, foi mais eficaz do que simplesmente expor conceitos descontextualizados de forma maçante no quadro da sala de aula citando os cientistas que os formularam há tempos atrás, onde a única aplicação é na resolução de problemas (essencialmente matemáticos) do livro didático e que exigem principalmente memorização. Os professores colaboradores destacaram em relação aos alunos do grupo experimental:

“Os alunos acharam o projeto interessante e produtivo e pretendem, no futuro, integrar outros projetos ou pertencer a clubes ou realizar atividades que promovam a Ciência e respondam também às muitas questões que eles gostariam de colocar” (Agrupamento de Escolas da Trofa, 2016).

Durante a intervenção com o *“Photonics Explorer”* utilizando a metodologia *“Inquiry-Based Learning”*, a organização dos estudantes em pequenos grupos promoveu a interação, senso de responsabilidade, autonomia no estudo e compreensão de que o conhecimento não é construído

de forma isolada e independente. Pelo relato dos professores cooperantes na intervenção e da nossa própria observação, concluímos que os estudantes perceberam que cada indivíduo do grupo tinha habilidades próprias, e por isso a sua importância, que somadas as dos demais garantiam a resolução dos problemas que estavam a investigar, ou seja, perceberam que o conhecimento não é dominado integralmente por alguém e que é necessária colaboração para a sua construção. Observou-se ainda que este aspecto facilitou para o professor, inclusive, o diagnóstico e os trabalhos para superação das dificuldades, pois quando um grupo não realizava as tarefas propostas, geralmente significava que a dificuldade não foi de um único estudante, mas do grupo como um todo. Quando a dificuldade era individual, muitas vezes os próprios colegas do grupo conseguiam ajudar. Nas situações observadas em que um grupo não conseguia ultrapassar as dificuldades numa dada atividade, estas eram então sanadas pelo professor contando também com a ajuda dos demais grupos que realizaram a tarefa de investigação.

Durante as observações das intervenções, percebeu-se no grupo experimental que aqueles estudantes que apresentavam timidez no começo, fosse por motivos inerentes à socialização ou por conta das dificuldades na aprendizagem da Física que já traziam consigo, com o passar do tempo já mostravam confiança ao perceberem que estavam colaborando para a realização das experiências e observações. Percebia-se de forma clara a satisfação de alguns mesmo nas tarefas mais simples, como por exemplo, ser o responsável por apontar de forma atenta as medições que eram realizadas.

No grupo controle, o qual recebeu orientação em ótica por métodos tradicionais, as dificuldades não eram percebidas de forma significativa pelo professor no contínuo do processo de ensino-aprendizagem, só sendo evidenciadas durante os exames escolares, resumindo-se às notas dos estudantes, deixando claro apenas o fato de que estes não memorizaram as informações transmitidas pelo professor. Este cenário não se distinguiu em nada daquele já conhecido na

maioria das escolas, um ensino de Física de maneira mecânica, descontextualizado da realidade e essencialmente matemático.

Durante a intervenção com o “*Photonics Explorer*” os estudantes foram estimulados a buscar informações em outros meios que não se resumissem ao livro didático. As fontes, principalmente da internet, eram sugeridas pelos professores com base nos textos de apoio disponibilizados a estes. Simulações, vídeos, textos complementares como de revistas de divulgação científica, entre outros, foram utilizados sempre com o intuito de relacionar com a realidade os conceitos estudados. A memorização e repetição eram desestimulados, por exemplo, quando o professor pedia a um grupo para explicar algo com suas próprias palavras, de modo consistente, mas sem a preocupação de repetir um texto pronto que leram em algum lugar. Nestes casos sempre havia a intervenção do professor com elogios (reforço da autoestima), correções ou complementando as informações que foram dadas.

No método tradicional de ensino e aprendizagem, semelhante ao aplicado no grupo controle, as informações são obtidas maioritariamente a partir do livro didático. Nesta prática de ensino e aprendizagem é evidente a preocupação com a memorização de conceitos apresentados no livro. Os estudantes, de modo geral, apenas recorrem a leitura deste nas proximidades dos exames escolares, os quais são compostos por questões ligadas diretamente ao texto principal do livro adotado.

Julgamos, assim, que o “*Photonics Explorer*” conjuntamente com a metodologia de “*Inquiry*”, permitiu aos estudantes perceberem que a aprendizagem eficaz dos conceitos passava pela busca de informações além daquelas dadas pelo professor ou pelo livro didático e que esta deveria e podia ser feita de forma autônoma. Além disso, perceber como os conhecimentos eram

aplicados em situações do dia-a-dia levou os estudantes a substituir a obrigatoriedade da memorização pela curiosidade.

Os estudantes que utilizaram o “*Photonics Explorer*” apoiado pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, ao contrário do ensino tradicional onde os estudantes são de forma geral ouvintes, puderam desconstruir de forma ativa as ideias equivocadas que traziam, ou seja, puderam expor tais ideias (na forma de hipóteses ou questões) e através do método científico perceber o que estava correto e o que não estava (possibilidade de refutação). Este processo contribuiu sem dúvida para a compreensão correta e eficaz de conceitos de ótica que foram abordados. Ou seja, não foram simplesmente impostas verdades absolutas e incontestáveis pelo professor de Física, tal como ocorre frequentemente no método tradicional.

Ao realizar de forma direta as atividades experimentais (*hands-on*) onde eram manipulados os componentes do “*Photonics Explorer*” ficou evidente o prazer e entusiasmo dos estudantes. Isto era refletido na última etapa da instrução por “*inquiry*”, pela qual tinham de apresentar para o professor e os colegas os procedimentos adotados para resolver um determinado problema. Percebia-se que a criatividade dos estudantes (já que o “*Photonics Explorer*” permite a flexibilidade na realização dos procedimentos) e a vontade de avançar para as próximas etapas tinha sido estimulada. Nas etapas seguintes era possível perceber que os estudantes tinham compreendido e já dominavam de forma satisfatória os conhecimentos abordados nas etapas anteriores. Além disso, a cada atividade realizada era perceptível a melhoria em relação às habilidades experimentais dos estudantes, como por exemplo, já saberem identificar sem indicação direta do professor os diferentes componentes do “*kit*”.

Pelo contrário, o desenvolvimento das habilidades experimentais e competências cognitivas para a aprendizagem através do método científico não é em geral estimulado nas aulas

tradicionais de Física (ou é feito com baixa intensidade), pois mesmo ao irem para o laboratório os estudantes repetem de modo quase mecânico um roteiro experimental rígido, frequentemente com caráter demonstrativo e com resultados previamente conhecidos. Ou seja, não têm a possibilidade de criar hipóteses e testá-las com experimentos nos quais podem alterar determinadas variáveis com o propósito construir de forma significativa os conceitos ali abordados. Quando se trata de resultados, por exemplo, muitos estudantes apenas copiam os relatórios dos colegas.

Nas intervenções com o “*Photonics Explorer*” os professores não tiveram dificuldades em perceber como deveria se dar o uso da ferramenta pedagógica e dos seus componentes em sala de aula, já que os textos de apoio para o professor se mostraram claros e de fácil compreensão. De modo semelhante, observou-se que os estudantes não tiveram dificuldades no entendimento dos textos de apoio direcionados a estes.

Nas intervenções com o grupo experimental observou-se que a relação entre professores e estudantes foi muito mais do que a simples transmissão de informações. Durante os treinamentos dados aos professores sobre o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*” fez-se a estes perceber que deveriam ser mais orientadores do que donos absolutos da verdade, guiando os estudantes pelas atividades de modo que incentivasse a autonomia e mostrasse a importância daquilo que aprendiam e produziam. Ou seja, enfatizou-se que o enfoque devia estar no aluno e no desenvolvimento de competências através da exploração das atividades do “*kit*”.

Com os bons resultados observados durante a intervenção experimental no que diz respeito à autonomia e aprendizagem conceitual de ótica por parte dos estudantes, os professores manifestaram a conficção de que a instrução por “*Inquiry-Based Learning*” conjuntamente com o uso da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*”, produzia qualitativamente melhores

resultados que os métodos tradicionais de ensino e aprendizagem, sendo perceptível o entusiasmo dos próprios profissionais ao trabalhar com a ferramenta pedagógica e com a metodologia.

Os resultados mostraram-se positivos ao demonstrarem que a intervenção despertou o entusiasmo dos estudantes pela ciência além de propiciar uma visão mais clara sobre as rotinas científicas e o trabalho de um cientista. Também com o propósito de demonstrar isto, a seguir são mostrados gráficos com os resultados de algumas perguntas respondidas pelos estudantes do grupo experimental após a realização das atividades de intervenção com a metodologia e a ferramenta pedagógica (Moura, 2016):

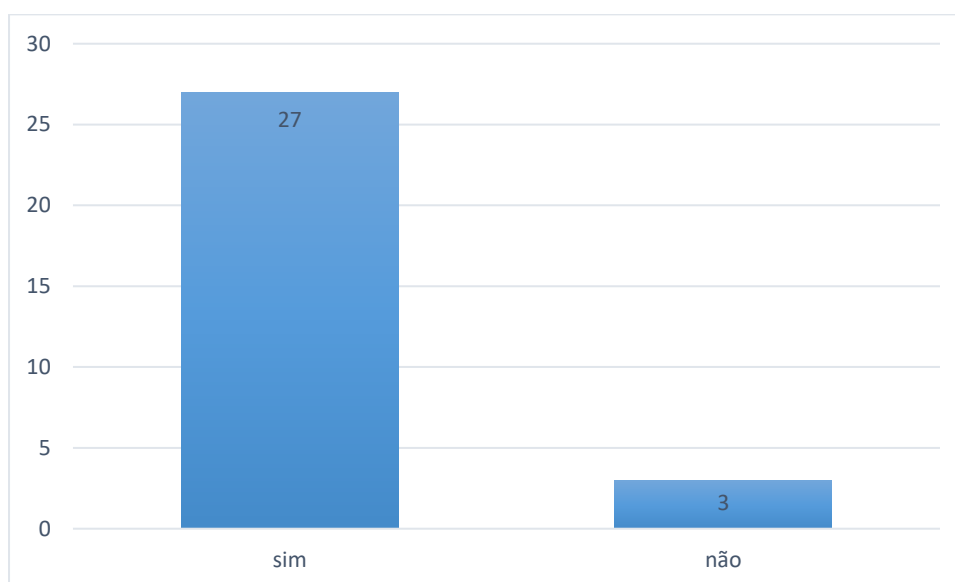


Figura 5-1. **Pergunta 1:** Pensa em continuar os estudos em ciências ou tecnologias após a utilização do “kit Photonics Explorer”?

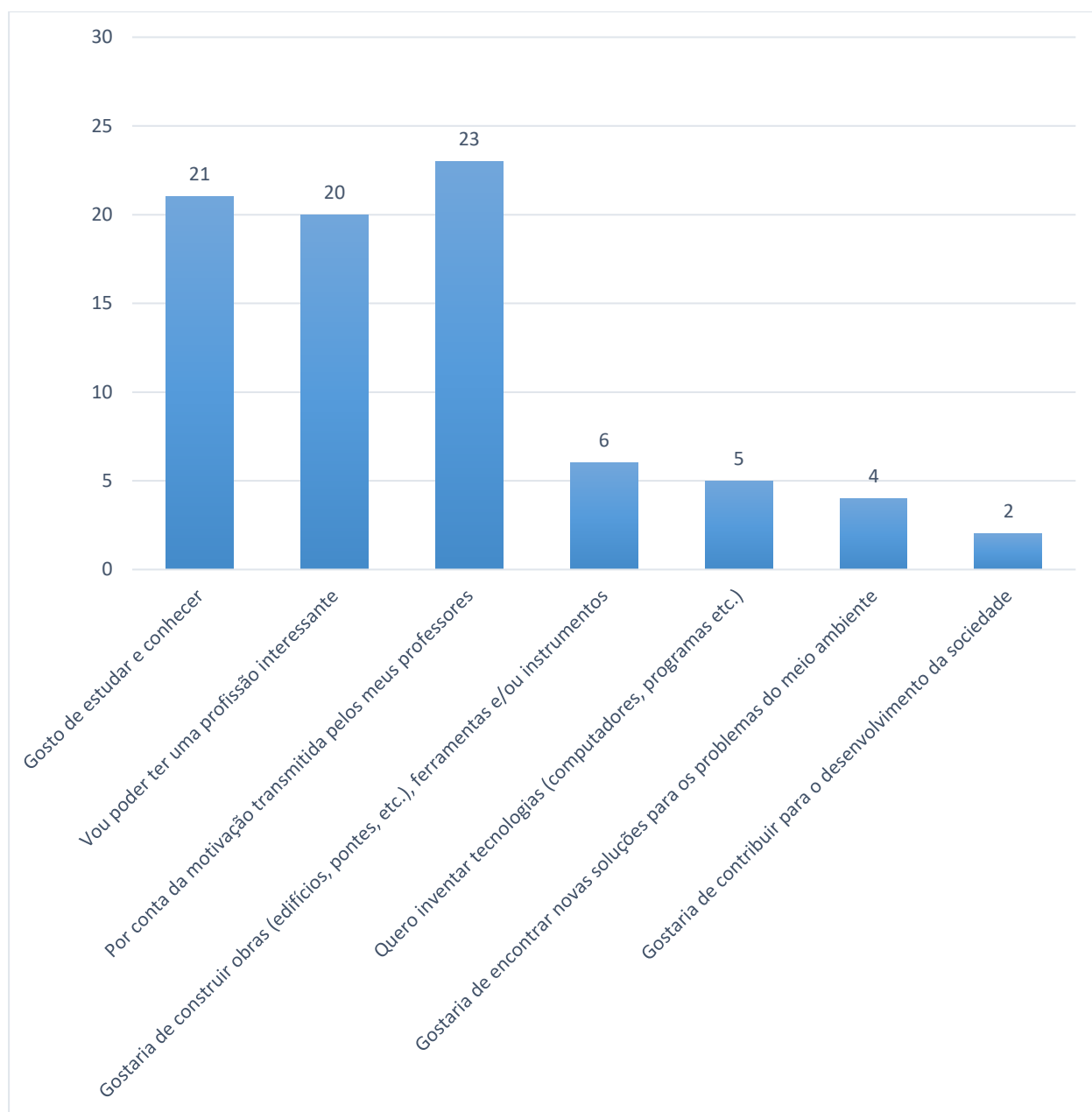


Figura 5-2. **Pergunta 2:** Caso a resposta para a primeira pergunta seja SIM, qual o motivo da tua decisão? Escolha até três opções.

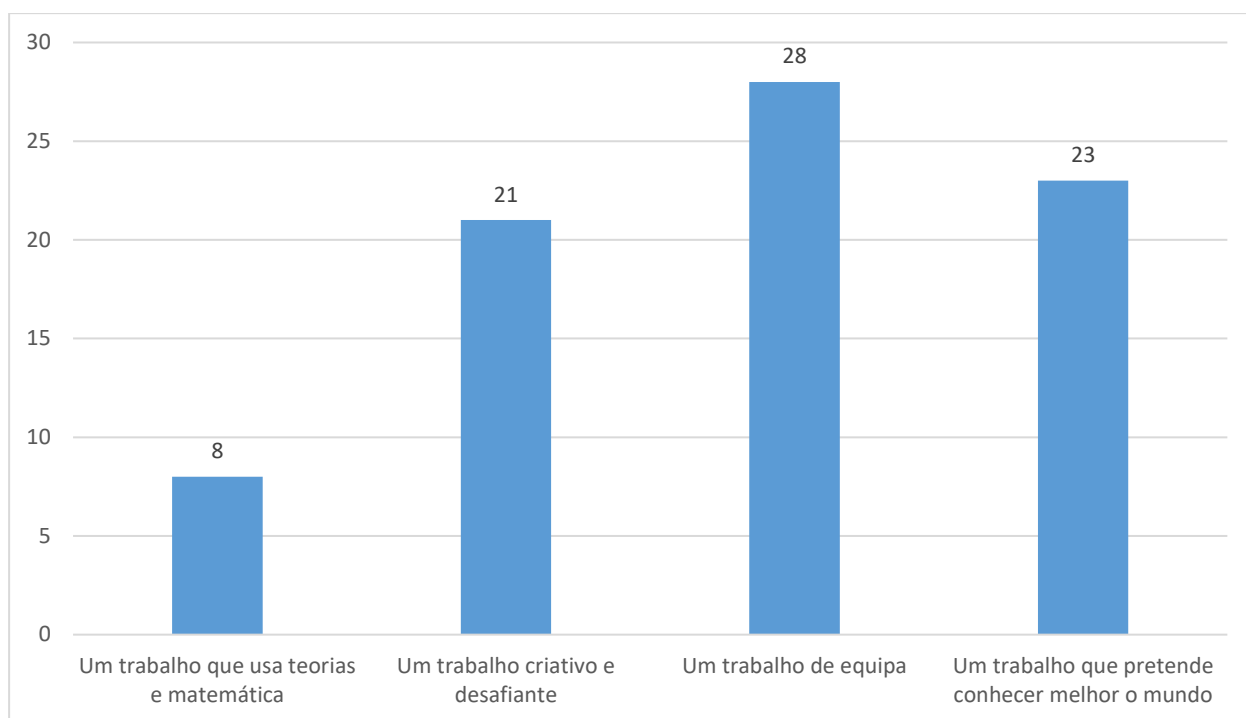


Figura 5-3. **Pergunta 4:** Em tua opinião e após a utilização do “kit Photonics Explorer”, escolhe três opções que caracterizam o trabalho dos cientistas.

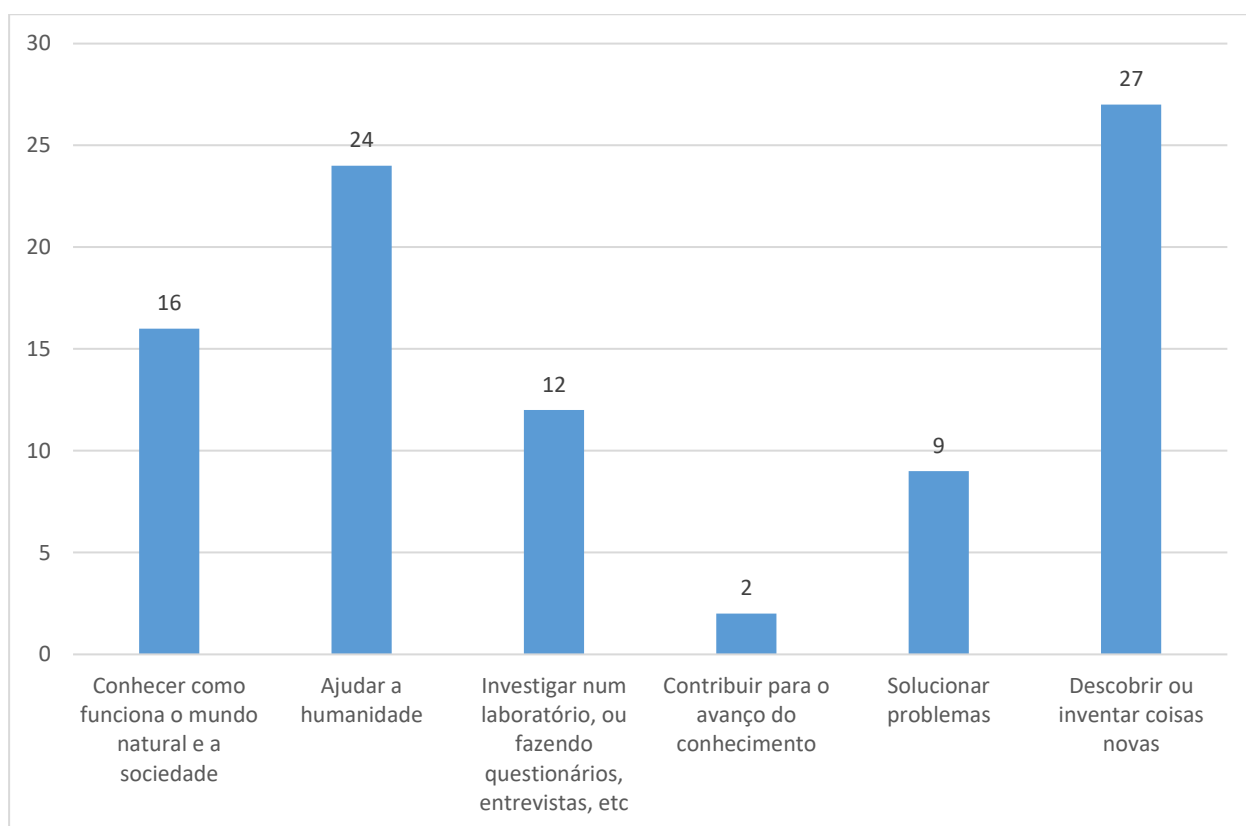


Figura 5-4. **Pergunta 5:** Em tua opinião e após a utilização do “kit Photonics Explorer”, quais os motivos para que um cientista faça o seu trabalho? Escolha até três opções.

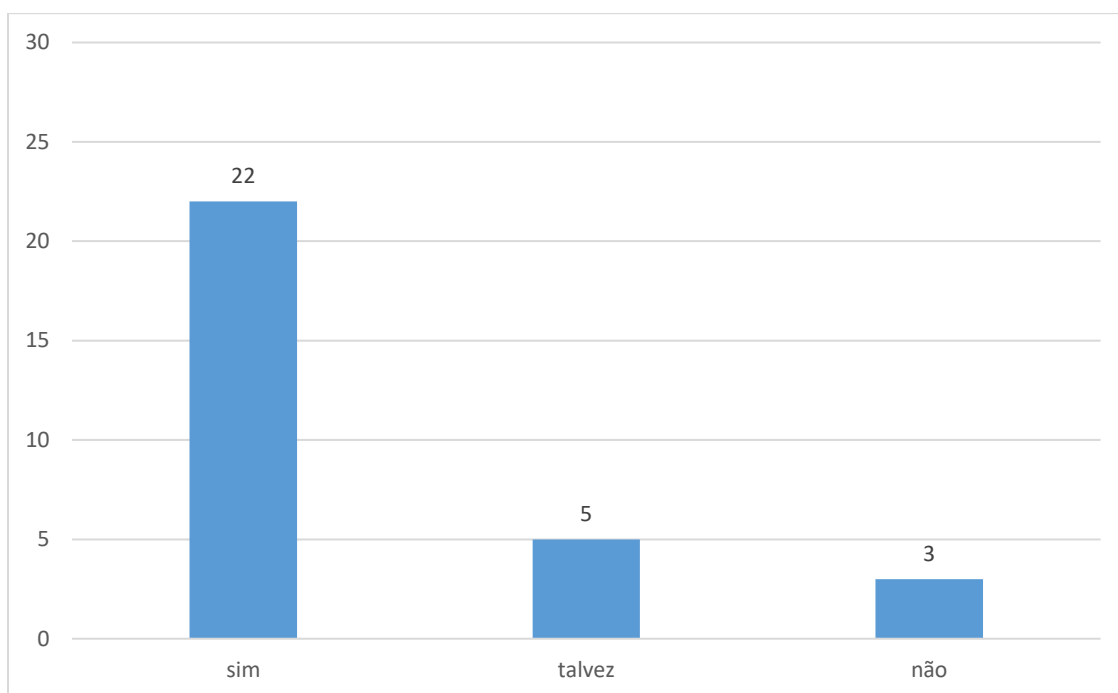


Figura 5-5. **Pergunta 6:** Em tua opinião e após a utilização do “kit Photonics Explorer”, além daquilo que leste, ouviste e aprendeste, acreditas que a profissão de cientista pode ser atrativa para os jovens de tua geração?

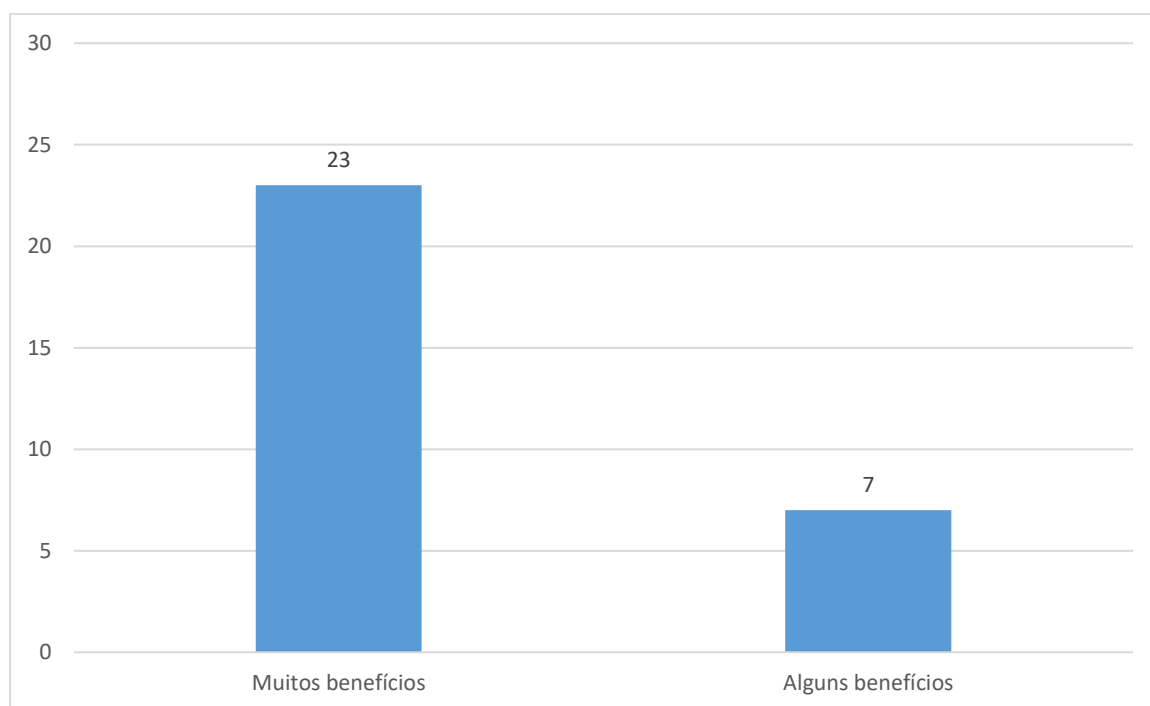


Figura 5-6. **Pergunta 7:** Em tua opinião e após a utilização do “kit Photonics Explorer”, acreditas que a ciência e a tecnologia trazem... (marca com um “X” a opção que consideras adequada).

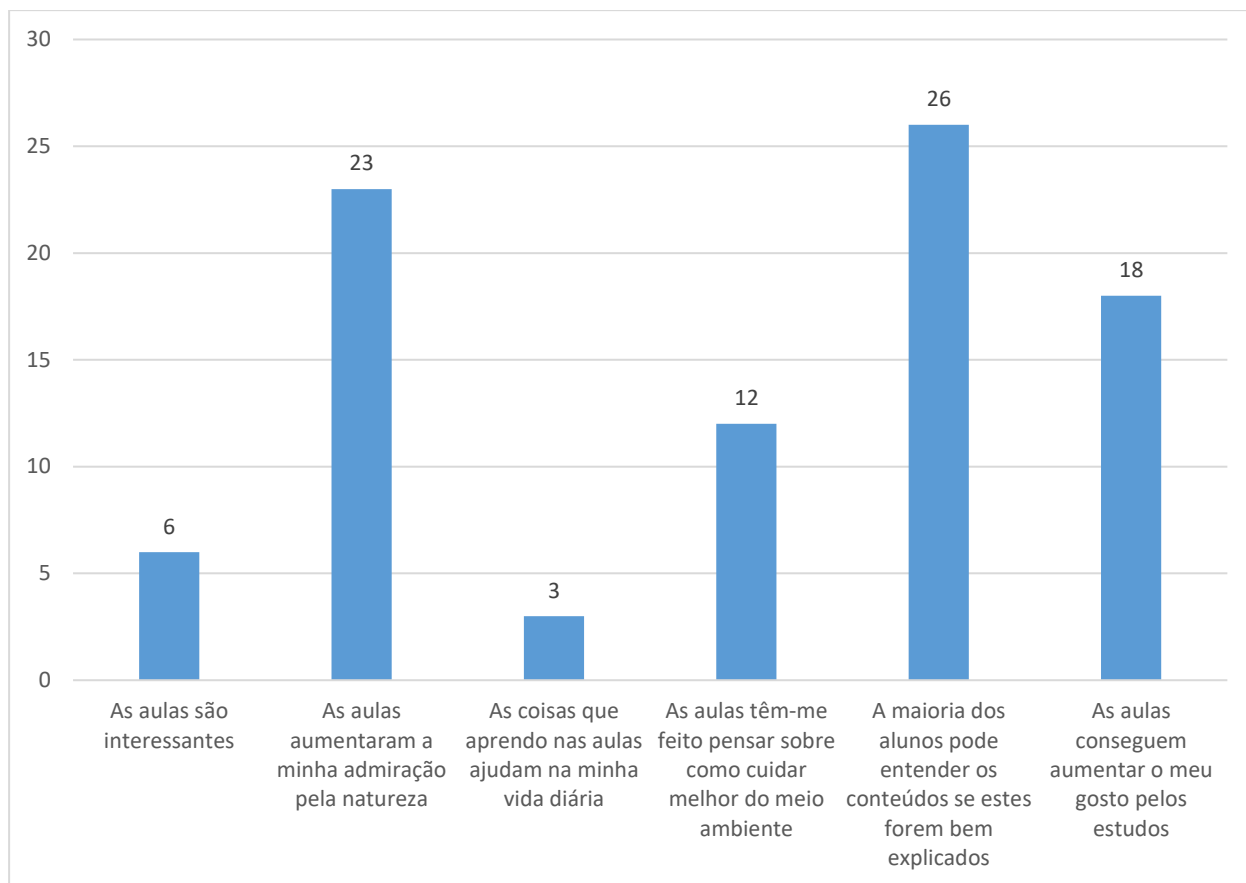


Figura 5-7. **Pergunta 8:** Em tua opinião e após a utilização do “kit Photonics Explorer”, pensa nas aulas de Físico-Química. Concorda com quais afirmações? Escolha até três opções.

Portanto, para os investigadores, o conjunto de fatores citados anteriormente explica tanto os resultados qualitativos observados diretamente durante a intervenção, como os resultados quantitativos positivos relativos à aprendizagem conceitual em ótica obtidos a partir do teste realizado ao final da intervenção.

5.3 Discussão considerando a integração dos resultados da investigação com outros estudos encontrados na literatura

5.3.1 Estudos sobre a aplicação do “*Photonics Explorer*” apoiado pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*”

À semelhança dos resultados encontrados por Cords e colaboradores no teste piloto com o “*Photonics Explorer*” realizados em 6 turmas da Alemanha e 5 da Bélgica, (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012), e pelo IPN (*Leibniz Institute for Science and Mathematics Education*) em estudo mais amplo realizado na Bélgica, Bulgária, França, Alemanha, Polónia, Espanha e Reino Unido, (Prasad & Debaes, 2013), (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013), (CORDIS, 2010), a investigação relatada nesta tese demonstrou o impacto positivo na aprendizagem conceitual de ótica e no desenvolvimento de habilidades experimentais de alunos do Ensino Básico de escolas públicas de Portugal quando instruídos com o uso da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” e da metodologia “*Inquiry-Based Learning*”.

Além disso, com base nas observações diretas feitas durante o treinamento ministrado para os professores (ver Gráfico 5-1, Gráfico 5-2, Gráfico 5-3 e Gráfico 5-4) e na intervenção com os estudantes, ficou evidente a satisfação dos participantes ao trabalhar com as atividades “*hands-on*” do “*Photonics Explorer*”, tendo os professores, inclusive, ao longo dos trabalhos com os estudantes manifestado as inúmeras vantagens no que diz respeito ao ensino e aprendizagem conceitual de ótica e desenvolvimento da autonomia por parte dos estudantes. No Anexo 5 (seção 8.5) pode ser visto um dos questionários respondidos pelos professores que participaram da formação “*Photonics Explorer*” na Universidade do Porto.

Os resultados que indicam a satisfação dos professores em trabalhar com o “*Photonics Explorer*”, foram semelhantes aos obtidos no teste piloto do “*Photonics Explorer*” e no primeiro estudo em escala maior realizado pela equipe do IPN (*Leibniz Institute for Science and Mathematics Education*), (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012), (Prasad & Debaes, 2013), (Prasad A. , Debaes, Fischer, & Thienpont, 2013), (CORDIS, 2010).

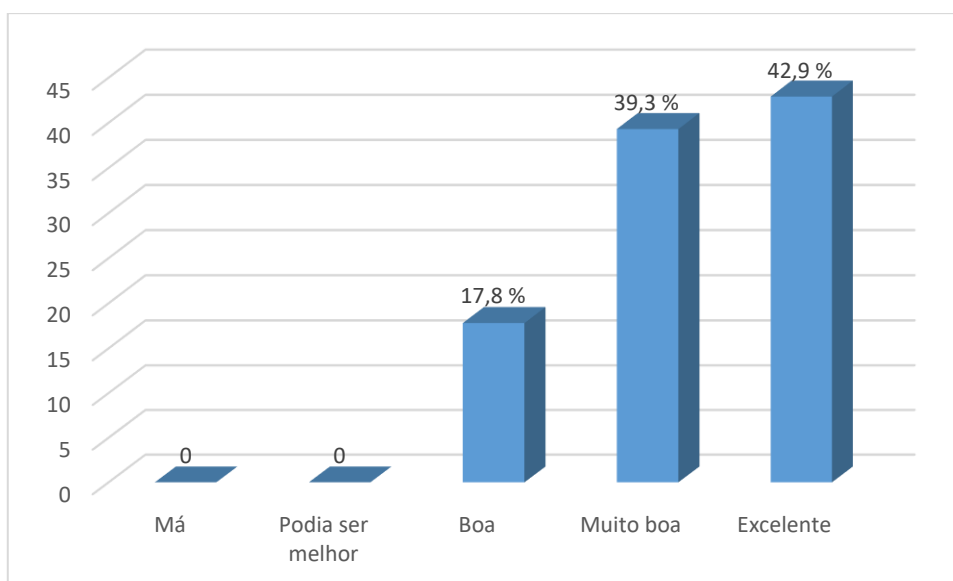


Gráfico 5-1. Avaliação dos professores participantes sobre o programa do “workshop” sobre o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*” realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

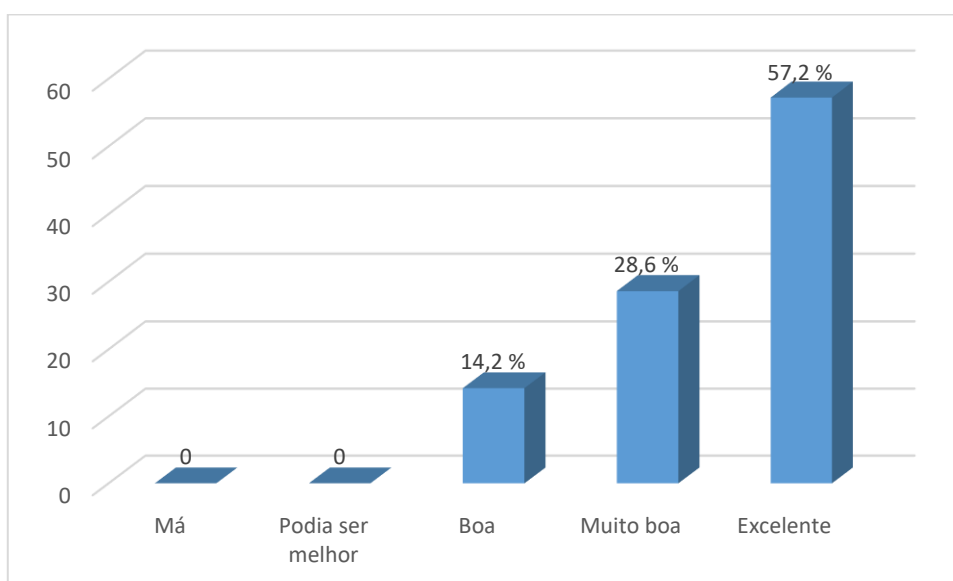


Gráfico 5-2. Avaliação dos professores participantes sobre a apresentação e os trabalhos práticos realizados no “workshop” sobre o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*” realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

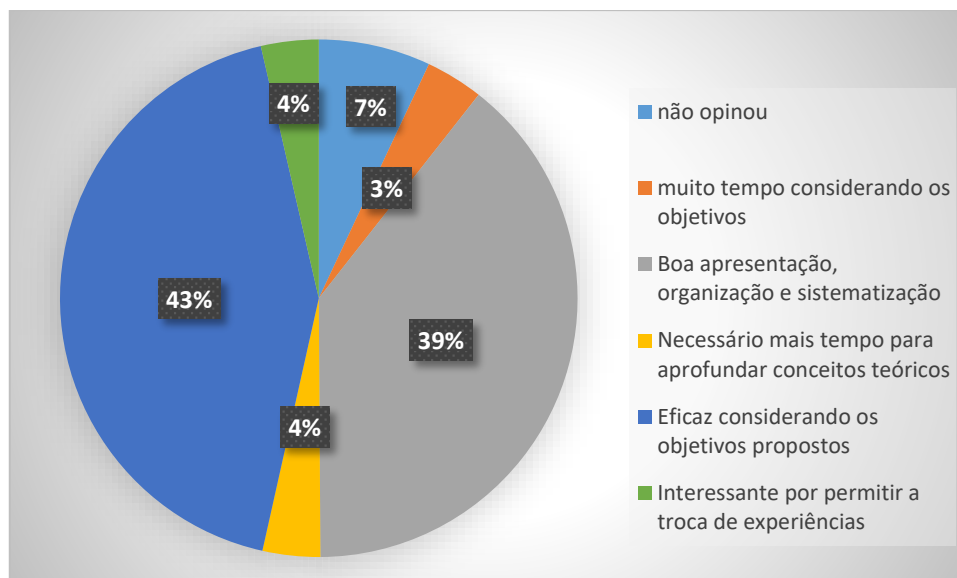


Gráfico 5-3. Opinião geral dos professores participantes sobre o "workshop" que tratou do "Photonics Explorer" e do "Inquiry-Based Learning" realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

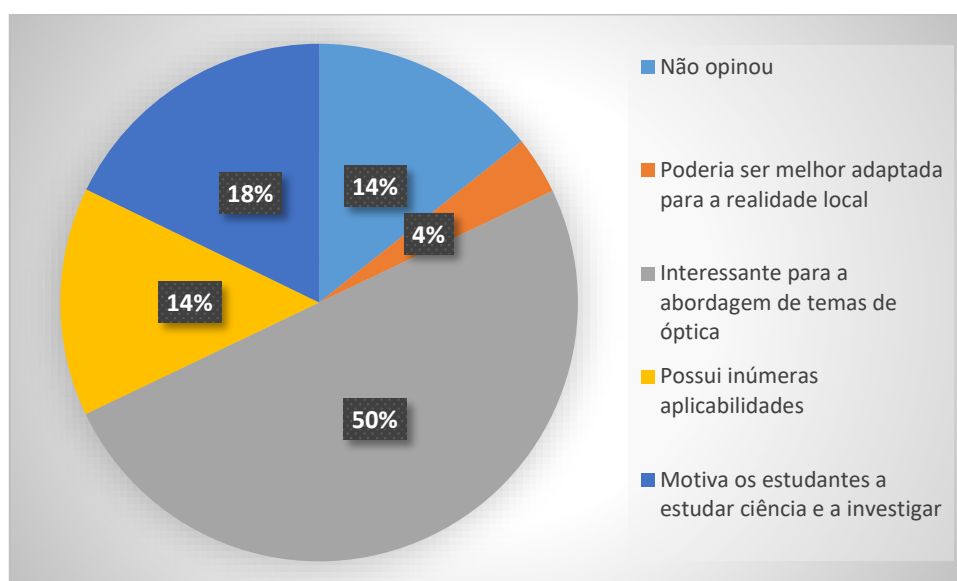


Gráfico 5-4. Opinião geral dos professores sobre a ferramenta pedagógica "Photonics Explorer" e a metodologia "Inquiry-Based Learning" após o "workshop" realizado no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Cords et al., observam que para alcançar resultados eficazes de aprendizagem com ferramentas como o "Photonics Explorer" é necessário que os materiais e procedimentos instrucionais sejam centrados no estudante (Cords, Fischer, Euler, & Prasad, 2012). Além disso, trabalhos publicados sobre os primeiros testes com a ferramenta pedagógica, indicaram que esta

apresentou resultados positivos mesmo quando o nível de instrução por “*Inquiry*” era pelo menos moderado, (Debaes, et al., 2013), (Prasad A. , et al., 2012), (Prasad & Debaes, 2013). Por conta disso, e tendo como objetivo um ensino e aprendizagem conceitual eficaz de ótica durante a intervenção, a implementação do “*Photonics Explorer*” com o “*Inquiry-Based Learning*” no Ensino Básico foi feita na forma de Clube de Ciências, pois deste modo os professores tiveram liberdade para utilizar um escopo maior de técnicas instrucionais e recursos centrados no estudante, ao contrário do que seria possível nas aulas convencionais, onde ainda há barreiras (pessoais, grupais e institucionais) para superação do padrão tradicional.

Deste modo, considerando os resultados positivos obtidos nesta investigação e aqueles obtidos no primeiro estudo de aplicação da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” (Tabela 2-6), (Debaes, et al., 2013), observaram-se os seguintes resultados convergentes:

- O “*Photonics Explorer*” foi aceito com entusiasmo por professores e estudantes;
- Os textos de apoio presentes no “*Photonics Explorer*” foram facilmente compreendidos por professores e estudantes;
- Os estudantes gostaram de trabalhar em pequenos grupos onde realizavam eles próprios (*hands-on* e *minds-on*) os processos experimentais do “*Photonics Explorer*”;
- Os professores observaram que após trabalhar com o “*Photonics Explorer*” os estudantes melhoraram o seu entendimento teórico (relativamente a aprendizagem conceitual) sobre tópicos da ótica;
- A implementação do “*Photonics Explorer*” mostrou bons resultados a curto prazo em relação a autonomia e aumento do interesse dos estudantes pela ótica.

5.3.2 Estudos sobre a aplicação do “*Inquiry-Based Learning*” como metodologia para o ensino e aprendizagem das ciências

Como dito anteriormente no capítulo que trata do referencial teórico, os trabalhos de meta-análise citados nesta investigação foram importantes por trazerem a análise de uma ampla bibliografia com estudos sobre a aplicação do “*Inquiry-Based Learning*” no ensino e aprendizagem das ciências ao longo de vários anos. Além disso, os trabalhos dos autores são atuais, rigorosos em “*design*”, resultando em dados importantes que servem como referencial para análise e compreensão dos resultados alcançados nesta investigação. Porém, não tivemos a intensão de fazer uma comparação simples e rígida de resultados (principalmente por conta de diferenças e pormenores metodológicos em relação a esta investigação), mas fornecer elementos encontrados em outros estudos que poderiam explicar os bons resultados obtidos com o “Photonics Explorer”.

5.3.2.1 O estudo de meta-análise de Furtak, Seidel, Iverson e Briggs

Os resultados desta investigação podem ser analisados ou compreendidos levando-se em consideração os resultados encontrados no trabalho de Furtak, Seidel, Iverson e Briggs, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012), por dois motivos principais: primeiramente pela existência de um tema em comum, a saber, a utilização do “*Inquiry-Based Learning*” como metodologia para o ensino e aprendizagem de ciências, no caso específico da investigação aqui relatada, para o ensino e aprendizagem da ótica; segundo porque esta investigação obedece aos critérios de seleção dos trabalhos analisados pelos autores, a saber, foi um estudo com “*design*” quase-experimental e com estudantes do Ensino Básico, além de ter as variáveis do estudo analisadas estatisticamente.

Como principal informação estatística os autores consideraram o “*effect size*” calculado a partir da equação de Morris adaptada, (Figura 2-10), (Morris, 2008). Neste caso, o cálculo foi feito

apenas considerando as médias do pré e pós-teste dos estudos avaliados, sem levar em consideração o Ganho, tal como feito nesta investigação. Aplicando os valores obtidos no caso específico deste relatório (ver seção Estatísticas descritivas, Tabela 8-2, Tabela 8-4, Gráfico 8-1, Gráfico 8-2) na equação de Morris adaptada, obteve-se o valor de 2,73 para o “*effect size*”. Com isso, já é possível fazer um paralelo entre os resultados descritos pelos autores e aqueles aqui relatados, apesar de considerarmos que este não deve ser feito de forma rígida e simplista, já que os próprios autores citados observam que um trabalho de meta-análise permite uma visão geral dos resultados, porém não considerando o contexto individual de cada trabalho analisado.

Os autores observaram que nos trabalhos publicados nos anos 80 sobre a aplicação do “*Inquiry-Based Learning*” no ensino das ciências, o “*effect size*” estava entre 0,06 e 0,35, dependendo do grau com que a metodologia era implementada. De acordo com a classificação de Cohen, e caso fosse calculado pela equação de Cohen, (ver seção Teste t para amostras independentes para o grupo experimental), (Cohen, 2013), aqueles valores significariam uma variação de um pequeno a médio “*effect size*” ($d \leq 0,2$ e $0,2 < d < 0,8$). Portanto, o facto do “*Photonics Explorer*” conjuntamente com o “*Inquiry*” ter sido implementado na forma de Clube de Ciências (com mais liberdade, maior grau de “*Inquiry*” e consequentemente potencialização de resultados) e não nas aulas convencionais, onde uma intervenção por “*Inquiry*” seria limitada, resultou em um “*effect size*” de 2,73 calculado pela equação de Morris adaptada (Figura 2-10), (se calculado pela equação de Cohen, seria considerado um grande “*effect size*”, $d \geq 0,8$) e d de Cohen de 1,4 considerando a média do Ganho (este sim calculado pelo d de Cohen), convergindo assim com os resultados observados nestes trabalhos, ou seja, quanto mais intensa (maior grau) a instrução por “*Inquiry*” mais eficaz os resultados de aprendizagem, estatisticamente expressados em termos de “*effect size*”.

Os resultados obtidos nesta investigação com a implementação do “*Photonics Explorer*” e da metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, também convergem com os resultados apresentados no trabalho de meta-análise de Schroeder e seus colaboradores e no “*Inquiry Synthesis Project*”, (Schroeder, Scott, Tolson, Huang, & Lee, 2007); (Minner, Levy, & Century, 2010), onde se relatam os efeitos positivos da instrução em ciências por “*Inquiry*”. No primeiro, o qual considerou apenas trabalhos experimentais e quase-experimentais com resultados quantitativos, obteve um “*effect size*” de 0,65 (considerado médio e próximo de alto se calculado pela equação de Cohen) para trabalhos que consideravam métodos de “*Inquiry*” mais centrados no estudante e com procedimentos mais próximos da investigação científica; já no segundo, o qual considerou também trabalhos qualitativos, conclui-se que o ensino de ciências por “*Inquiry*” trouxe resultados positivos principalmente em relação a aprendizagem conceitual.

A média para o “*effect size*” relatada no trabalho de Furtak e seus colaboradores e calculado através da equação de Morris adaptada foi de 0,50 considerando todas as áreas presentes nos trabalhos avaliados (Astronomia, Química, Biologia, Ciências da Terra, Física, Ciências Espaciais, Ciência e Ambiente, Ecologia) e 0,48 se fossem considerados apenas os trabalhos de Ciências Físicas, Física e Astronomia (estes “*effect sizes*” são considerados médios se calculados pela equação de Cohen). Além disso, a distribuição para o “*effect size*” dos 37 trabalhos avaliados (ver subseção 2.3.1.2, Figura 2-11) mostra que pelo menos 15 trabalhos apresentaram “*effect size*” entre 0,2 e 0,8 (pela classificação de Cohen é um “*effect size*” médio), sendo que destes pelo menos 6 estão próximos de 0,8 (pela classificação de Cohen é um “*effect size*” grande), enquanto que 10 trabalhos tiveram “*effect size*” maior que 0,8 (pela classificação de Cohen é um “*effect size*” grande). Ou seja, dos trabalhos avaliados quase 68% mostraram impacto positivo e 27% impacto positivo e altamente significativo na aplicação da instrução por “*Inquiry*” no ensino das ciências. Estes resultados convergem com os resultados obtidos com o “*Photonics Explorer*” implementado através da instrução por “*Inquiry*”, os quais foram não só positivos, mas com valores de “*effect*

size” (calculado pela equação de Morris adaptada, e no caso do Ganho pela equação de Cohen) altamente significativos (muito acima de 0,8 na classificação de Cohen).

É importante destacar que apesar dos autores terem utilizado categorias (ver subsecção 2.3.1.2, Figura 2-13) para classificar o que essencialmente os trabalhos avaliaram, no trabalho realizado por nós levou-se em consideração o impacto da instrução em ciências por “*Inquiry*” como um todo e não por categororias. Como tal, consideramos que os resultados positivos no teste conceitual respondido pelo grupo experimental para avaliação da implementação do “*Photonics Explorer*” aplicado conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, se deveram a um somatório de aspectos na aprendizagem que englobaram diferentes categorias definidas por Furtak e seus colaboradores.

Considerando a descrição do **domínio da orientação** utilizado no trabalho de meta-análise de Furtak e seus colaboradores (ver subsecção 2.3.1, Figura 2-7), observou-se que durante esta investigação as atividades de “*Inquiry-Based Learning*” realizadas com o “*Photonics Explorer*” centraram-se no meio do contínuo que descreve o grau da orientação, ou seja, por um processo de “*Guided Inquiry*” onde o professor orientava os estudantes durante as atividades utilizando o método de investigação científica, não sendo somente um transmissor de informações mas também não deixando os estudantes à deriva. Assim, os resultados obtidos com o “*Photonics Explorer*” e com esta forma de intervenção por “*Inquiry*” convergem com os resultados obtidos no estudo de meta-análise (ver subsecção 2.3.1.2, Figura 2-15), onde o tipo de orientação com maior média para o “*effect size*” (0,65, considerado médio pela classificação de Cohen) foi justamente aquela onde o professor assumiu o papel de orientador (centro do contínuo de orientação).

Portanto, considerando as conclusões relacionadas no trabalho de meta-análise de Furtak e colaboradores, (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012), e comparando-as com os resultados

obtidos através da intervenção com o “*Photonics Explorer*” e a metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, podem-se indicar as seguintes convergências:

- Os resultados foram positivos e muito eficazes considerando a aprendizagem conceitual de ótica por parte dos estudantes que complementaram a sua instrução por “*Inquiry-Based Learning*” (o qual serviu como base metodológica para implementação do “*Photonics Explorer*”);
- O professor tem um papel importante durante a instrução por “*Inquiry*”, devendo ser um orientador e não um simples transmissor de informações ou deixar os estudantes à deriva durante a orientação. Com isso são obtidos melhores resultados na aprendizagem dos estudantes, inclusive muito superiores aos obtidos através da orientação por métodos tradicionais de ensino e aprendizagem;
- Para melhores resultados na aprendizagem das ciências (no caso deste trabalho, no campo da ótica) através da instrução por “*Inquiry*”, os estudantes devem participar de atividades diversificadas que permitam, por exemplo, criar, implementar e divulgar resultados obtidos a partir de atividades que seguem o método científico (possível com o uso adequado da ferramenta “*Photonics Explorer*”).

5.3.2.2 O estudo de meta-análise de Lazonder e Harmsen

Os resultados obtidos através desta investigação podem ser analisados ou compreendidos olhando-se para aqueles descritos no trabalho de Lazonder e Harmsen, (Lazonder & Harmsen, 2016), pois esta investigação obedece a todos os critérios utilizados pelos autores para a seleção dos trabalhos que foram analisados no seu trabalho de meta-análise, (ver subseção 2.3.2.1). Apesar disso, como dito anteriormente, por conta de peculiaridades da metodologia aplicada nesta

investigação (intervenção na forma de Clube de Ciências e não em aulas convencionais), o objetivo não foi fazer uma comparação simples e rígida de resultados, mas fornecer elementos encontrados em outros estudos que poderiam explicar os bons resultados obtidos com o “*Photonics Explorer*”.

É importante destacar novamente que apesar de aqueles autores terem utilizado categorias (ver subseção 2.3.2.1) para classificar e avaliar os trabalhos incluídos na meta-análise, tal como dito anteriormente, o que se está levando em consideração aqui é o impacto da instrução em ciências por “*Inquiry*” como um todo. Mais uma vez observa-se que os resultados positivos no teste conceitual aplicado ao grupo experimental para avaliação da implementação do “*Photonics Explorer*”, aplicado conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, só foram possíveis por conta de um somatório de pontos positivos e avanços, como o desenvolvimento de competências e habilidades no que diz respeito às práticas do “*Inquiry*” (formulação de hipótese, modelagem experimental, divulgação de resultados, etc.), no uso correto de conceitos na práticas experimentais e no domínio conceitual para a resolução de problemas.

Considerando os resultados obtidos através das observações diretas das atividades de implementação do “*Photonics Explorer*” apoiado pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*” e aqueles obtidos estatisticamente através do teste conceitual de ótica, confirma-se a convergência com os resultados do trabalho de meta-análise de Lazonder e Harmsen que apontam que a instrução das ciências através de “*Inquiry*” propicia resultados de aprendizagem e desenvolvimento de competências e habilidades experimentais positivos e significativos, (Lazonder & Harmsen, 2016). Estes estão, também, em sintonia, com outros estudos que avaliaram os impactos da instrução em ciências através do “*Inquiry*”, (Alfieri, Brooks, Aldrich, & Tenenbaum, 2011), (Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012), (Carolan, Hutchins, Wickens, & Cumming, 2014), (D'Angelo, Rutstein, & Harris, 2014).

Os resultados de Lazonder e Harmsen convergem com os obtidos com o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*” quando se considera o tempo de intervenção, ou seja, aqueles autores mostraram que não é um tempo mais longo de intervenção por “*Inquiry*” que vai retornar melhores resultados, mas sim a qualidade da intervenção de acordo com os objetivos traçados. A qualidade da intervenção com o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*” foi pensada desde a tradução do material para o português, passando pelo curso ministrado aos professores até a aplicação efetiva no Clube de Ciências, o que produziu resultados positivos.

O trabalho de meta-análise citado também mostrou que o professor tem um papel importante na orientação dos estudantes durante as atividades para que os resultados positivos sejam alcançados. Além disso, é referido que a orientação por “*inquiry*” também deve dar liberdade para que o estudante possa desenvolver diferentes competências e habilidades inerentes às práticas científicas, pois além de ajudar na aprendizagem das ciências, também irá estimular os jovens estudantes a escolher e seguir carreiras em áreas de ciências, tecnologias, engenharias e matemática (CTEM), (Lazonder & Harmsen, 2016). Estes resultados convergem com aqueles relatados nesta investigação no sentido de que se atribui como fatores que contribuíram para os resultados positivos da intervenção com o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*”, uma instrução onde o professor teve papel de orientador e não somente de transmissor de informações ou especialista, consultado apenas quando os estudantes achavam conveniente, além do fato do estudantes claramente sentirem-se motivados pelas atividades “*hands-on*” e como estas foram trabalhadas numa perspectiva CTEM.

Portanto, as conclusões traçadas pelos autores no seu estudo de meta-análise e que convergem com aquelas perspectivadas nesta investigação, foram:

- A qualidade da orientação é fundamental para o sucesso da instrução por “*Inquiry-Based Learning*”, levando os estudantes a alcançarem melhores resultados quanto a realização de atividades experimentais e performance nos testes de conhecimento;
- Segundo os autores, os benefícios para o ensino e aprendizagem das ciências independem do tipo de orientação por “*inquiry*”. Isto pode ser observado fazendo-se um paralelo dos resultados dos estudos de meta-análise com aqueles obtidos através da implementação com o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*” na forma de Clube de Ciências, onde os professores tiveram total liberdade de implementar o “*Inquiry*” sem a preocupação de adaptar a instrução a práticas tradicionais exigidas pelos programas curriculares.

5.4 Resumo da contribuição dos resultados para a literatura

O processo de intervenção com aplicação da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” e da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” descrito nesta investigação, mostrou que resultados positivos e eficazes na aprendizagem conceitual da ótica no Ensino Básico, são obtidos quando os estudantes participam diretamente e de forma ativa de atividades experimentais que seguem o método científico para a construção do conhecimento. A investigação mostrou não serem necessários equipamentos sofisticados ou caros para ensinar a ótica básica de forma motivadora, que estimule a autonomia e faça sentido para os estudantes, principalmente como conjunto de conhecimentos que permite o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas que propiciam conforto ao ser humano e soluções para problemas da vida real.

Assim, esta investigação mostrou para o caso específico da ótica no Ensino Básico, à semelhança do que defendem outros estudos referenciados aqui para o caso geral do ensino das ciências, que no mundo atual onde o conhecimento e as tecnologias avançam de maneira exponencial, os métodos de instrução centrados apenas no professor (ditos tradicionais) apresentam uma aprendizagem conceitual menos expressiva do que aquela em que essa instrução

é complementada por atividades centradas no aluno. Esta última desperta de forma acentuada o interesse dos estudantes pela ótica e consequentemente pela ciência, sendo isto mais evidenciado quando comparados com os resultados alcançados pela utilização de ferramentas pedagógicas e métodos inovadores como o “*Photonics Explorer*” e o “*Inquiry-Based Learning*”.

5.5 Sugestões quanto à aplicação

Com base nos resultados desta investigação, aconselha-se a utilização do “*Photonics Explorer*” e da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como recurso eficaz, complementar ou integrado no ensino e aprendizagem conceitual de ótica no Ensino Básico. Caso haja resistência da escola, dos restantes professores ou até logísticas na sua aplicação em sala de aula, a pesquisa aqui apresentada sustenta a sugestão de implementar a ferramenta pedagógica na forma de Clube de Ciências, por dar liberdade para que a instrução por “*Inquiry*” aconteça na forma que o professor considere mais adequada aos seus alunos e no contexto escolar, de tal modo que as técnicas e dinâmicas inerentes ao método possam ser potencializados.

Durante a implementação é fundamental que o professor compreenda que tem um papel importante, mais como orientador e facilitador e menos como centro do processo. As práticas tradicionais devem ser progressivamente abandonadas para dar lugar a construção do conhecimento pelo aluno através do método científico, sendo que este deve ter participação direta e ativa, desde a criação de hipóteses, passando pelo “*design*” das experiências e indo até a divulgação formal das informações obtidas. Este processo não será possível sem uma orientação pedagógica, pelo que não sugerimos a utilização do “*Photonics Explorer*” como atividades desconexas e dissociado do “*Inquiry-Based Learning*”, uma vez que a própria ferramenta foi concebida com base nesta metodologia.

Como última sugestão, lembramos o facto do “*Photonics Explorer*” utilizar exemplos de aplicações tecnológicas para discutir os conceitos da ótica de modo a motivar e mostrar para o estudante que o conhecimento científico além de permitir a compreensão do mundo atual, também promove o desenvolvimento de soluções tecnológicas para o conforto da Humanidade. Deste modo, é importante que o professor apele aos recursos tecnológicos do dia-a-dia dos próprios estudantes como complemento ao uso da ferramenta, por exemplo, vídeos e simulações na internet, tecnologias “*mobile*”, equipamentos de uso frequente como os leitores ópticos, etc.

5.6 Limitações da investigação e sugestões para trabalhos futuros

É importante para qualquer estudo que sejam descritas as suas limitações e que sejam sugeridas melhorias que podem ser implementadas em trabalhos futuros. Deste modo, são relacionadas a seguir as limitações em relação a validade interna e externa da investigação segundo o ponto de vista do autor, onde são feitas sugestões para melhorias em trabalhos futuros, seja para uma replicação deste estudo, seja para implementação em novos cenários. Na última subseção sugerimos intervenções que podem ser realizadas com o “*Photonics Explorer*” e a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” para avaliação do seu impacto na aprendizagem e motivação dos alunos, considerando novos cenários e variáveis metodológicas.

5.6.1 Limitações quanto a validade interna

5.6.1.1 Tamanho da amostra

Consideramos como fator que de certo modo limita a validade interna desta investigação, mas sem comprometer a sua importância prática e para a literatura, o *déficit* quando se considera a amostra pretendida e a amostra real. Como apresentado na subseção 3.2, a amostra alvo era

estimada em pelo menos 240 estudantes, enquanto a amostra real foi de apenas 60, ou seja, 25% do tamanho inicialmente pretendido. Este fato torna-se ainda mais crítico se for considerado o Universo delimitado que foi de 480 estudantes (para este referencial a amostra real foi de 12,5%), considerado a partir da média do número de estudantes por escola (24 escolas receberam o “*kit*”) que se pretendia submeter à intervenção com o “*Photonics Explorer*”, onde levou-se em consideração números que foram indicados pelos próprios professores das escolas participantes na formação realizada no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Já foram apresentados os motivos (ver subseção 3.2) que podem explicar o facto dos professores não terem realizado a intervenção em suas escolas como inicialmente estava previsto. A fim de contornar este problema em futuras investigações, seja na replicação deste estudo, seja em intervenções que considerem novos cenários, sugerimos primeiramente que o tamanho da amostra seja definido com base em critérios estatísticos, como, por exemplo, o “*effect size*” (grau ou dimensão da presença do fenómeno na população) e potência desejados, podendo ser consultado para isso tabelas com seus respectivos valores, como a de Cohen utilizada nesta investigação (Tabela 8-23). Como segundo passo, sugerimos que após a definição da amostra a intervenção seja realizada em um número reduzido de escolas, porém com um número maior de estudantes por escola, até o total da amostra pretendida. Deste modo, o próprio investigador poderá realizar mais facilmente a intervenção com o “*Photonics Explorer*”, não dependendo das burocracias escolares e “boa vontade” dos professores. Claro que se poderia argumentar que assim comprometer-se-ia a validade externa, já que o perfil dos estudantes seria de certo modo condensado por não fazerem parte de um número amplo de escolas. Bom, neste caso a única forma de resolver este problema seria ter uma equipe de investigadores realizando a intervenção em um amplo número de escolas.

5.6.1.2 Conveniência da amostra do grupo experimental

Para a investigação, considerando as dificuldades dos professores para a implementação, teve de ser tomada uma amostra de conveniência. No entendimento do grupo de investigação, este fator, pode ser indicado como limitador para a interpretação dos resultados obtidos. Observou-se que os estudantes que participavam dos Clubes de Ciências foram aqueles que já se mostravam com alguma motivação para as ciências e apresentavam, também, certas competências, por exemplo, em matemática. Isto, sem dúvida pode ter influenciado os resultados quantitativos obtidos.

Na prática da sala de aula é possível perceber que estudantes que têm o gosto pela aprendizagem de ciências, e já possuem algumas competências como o bom entendimento da matemática, são mais dedicados à aprendizagem conceitual e também com alguma frequência à realização dos trabalhos experimentais. Pelo contrário aqueles com dificuldades ou desinteresse por ciências devem ser primeiramente estimulados, levando algum tempo para atingir os mesmos índices motivacionais dos demais.

Portanto, há que considerar que os altos índices do Ganho (quantitativos) do grupo experimental provavelmente tenham sido influenciados por este fator. Para estes alunos, os professores puderam dedicar mais tempo à instrução e orientação propriamente dita do que ao estímulo dos estudantes pelo estudo da ótica. Caso contrário, é provável que os índices não fossem tão altos pela avaliação apenas da aprendizagem dos conceitos, sendo possivelmente mais expressivos quando avaliado o aumento do interesse pela aprendizagem em ciências.

Porém, mais uma vez é preciso observar que isto não diminui a importância dos resultados. Uma vez que os estudantes partiram do mesmo ponto no que tange aos conhecimentos de ótica, ficou evidente (mesmo com limitadores) sob o ponto de vista da interpretação qualitativa dos

resultados, que o “*Photonics Explorer*” conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” quando utilizada de forma complementar ao ensino tradicional, propicia um grande entusiasmo aos alunos pelas questões científicas na área da ótica, conjugados quantitativamente com melhores resultados de aprendizagem conceitual, mesmo que as enormes diferenças detectadas entre os grupos controle e experimental tenham sido influenciadas pelos fatores pessoais como os acima descritos.

Para se minimizar este fator de influência nos resultados, uma solução seria utilizar a ferramenta e a metodologia em turmas completas (eliminar o efeito do voluntariado), o que traria mais fidedignidade quantitativa para os resultados. Além disso, o que seria ainda mais interessante para um estudo futuro, seria a utilização complementar do “*Photonics Explorer*” e do “*Inquiry-Based Learning*” com estudantes considerados de baixo desempenho na aprendizagem de ciências. A comparação destes diferentes cenários provavelmente permitiria identificar que fatores influenciaram nas diferenças estatísticas, e talvez mais importante que isso, consolidaria os resultados positivos da ferramenta mesmo quando utilizada com diferentes públicos.

5.6.1.3 A função de participação dos docentes colaboradores

Pode ser indicada como uma das limitações deste estudo, mas que não invalida os resultados positivos obtidos para o uso complementar do “*Photonics Explorer*” no ensino da ótica no Nível Básico, o fato de três dos professores que trabalharam com o grupo experimental terem sido professores também do grupo controle (além de fazerem parte de duas das quatro escolas). A limitação a que nos referimos pode advir de uma maior “dedicação” aos alunos do grupo experimental do que aos alunos do grupo controle, face à notória maior participação, interesse e “*feedback*” positivo dos alunos do grupo experimental, que possam ter exercido um efeito de

“contágio” nesses professores. Por exemplo, através da utilização de recursos didáticos mais robustos, dispêndio de maior tempo para orientação, acompanhamento mais próximo de dificuldades individuais, entre outros aspectos. Este cenário pode ter sido potenciado, eventualmente, pelo fato dos trabalhos com o “*Photonics Explorer*” possibilitarem maior flexibilidade didática, espacial e temporal, não exigindo controle excessivo do tempo, exigência de atribuição de notas, rigor na sequência e abordagem de conteúdos, etc. Estas particularidades, na verdade, foram tidas como motivadoras pelos professores ao participarem do treinamento com o “*Photonics Explorer*” na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Assim, não se pode descartar a hipótese de que os resultados quantitativos apresentados neste trabalho (diferenças entre as médias obtidas para os grupos) poderiam ter sido influenciados por estes aspectos, os quais obviamente caracterizam uma limitação para a validade das diferenças quantitativas. Como tal, o professor correu o risco de ser influenciado de forma diferente pelos dois grupos, ou seja, pode ter havido algum grau de parcialidade. Porém, sob o ponto de vista qualitativo os resultados continuam a ser válidos e importantes, por mostrarem que a ferramenta didática quando apoiada pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*” proporciona liberdade e maior interesse por parte dos professores por conta de suas características inovadoras e flexíveis do ponto de vista metodológico e didático, refletindo deste modo numa maior atenção dada aos estudantes e consequentemente em melhores resultados de aprendizagem conceitual da ótica.

Portanto, neste caso, a sugestão é que o grupo controle e experimental possam ser atendidos por professores diferentes, mas que possuam o máximo de características pedagógicas e formativas análogas, tais como, métodos de instrução adotados, nível de formação, acesso a materiais didáticos, etc.

Em estudos futuros, é importante buscar mecanismos para eliminar, ou pelo menos diminuir, estas limitações, favorecendo o aumento do grau de validade dos resultados quantitativos obtidos. Claro que apesar de possíveis ajustes, o fator “humano” ainda será motivo de limitações para os resultados, já que, por exemplo, professores que utilizem predominantemente métodos tradicionais, podem manifestar alguma dificuldade, insegurança (ou até aversão) para a implementação de práticas e metodologias ativas, diferente daqueles professores que já experimentaram ou que usam com regularidade métodos mais centrados no estudante, mesmo depois de alguma orientação nesse sentido, como através de uma formação semelhante a ministrada na Universidade do Porto.

5.6.1.4 A configuração do teste aplicado

Outro fator que pode ser apontado como limitador da validade dos resultados quantitativos obtidos, é a próprio teste utilizado como ferramenta para obtenção dos dados. Não no que se refere à sua qualidade como instrumento de avaliação ou ao mérito dos conteúdos trabalhados, mas na forma e/ou extensão como os conteúdos foram abordados, ou seja, primando pelo aspecto conceitual diretamente relacionado com as atividades contempladas no “*Photonics Explorer*”.

É sabido que os problemas de Física que muitas das vezes são apresentados aos estudantes, são retirados de livros didáticos e trabalhados pelos professores em sala de aula, os quais em um segundo momento, com poucas modificações são utilizados nas avaliações formais da aprendizagem, com o intuito principal de obtenção de nota, ou em outras palavras, primando pela memorização de conceitos ou manipulação automatizada de equações matemáticas.

Assim, estudantes que tiveram um ensino por métodos exclusivamente tradicionais, podem sentir dificuldade acrescida em responder a questões de testes que exigem, por exemplo, a

compreensão de conceitos e não a memorização de técnicas de resolução de problemas. Ressalve-se, contudo, que o ensino de ciências deve ter como característica principal a formação do cidadão consciente e que compreende as evoluções tecnológicas ao seu redor, sendo isto possível pela aprendizagem significativa dos conceitos científicos e tecnológicos e não pela simples memorização.

No caso deste estudo, não é de excluir que os resultados quantitativos podem ter sido influenciados pelas características do teste aplicado, já que este pode ter privilegiado os estudantes do grupo experimental, os quais foram estimulados durante a participação no Clube de Ciências a trabalhar com questões que instigavam a compreensão dos conceitos estudados através do “*Photonics Explorer*”. Assim, pelo menos duas questões devem ser levadas em consideração: 1. Este fator limita fortemente os resultados obtidos e, portanto, compromete a investigação como um todo? 2. Como esta limitação poderia ser superada em trabalhos futuros para aumentar a confiabilidade dos resultados quantitativos?

Acreditamos que a resposta para a primeira pergunta é não. Isto porque, por mais que a tipologia das questões do teste seja mais familiar aos alunos do grupo experimental, o conhecimento científico é igual para todos e independe do percurso da aprendizagem. O que influencia o grau do conhecimento científico adquirido é o facto do grupo experimental ter tido uma aprendizagem mais robusta dos conteúdos abordados de ótica, obtidos por uma instrução complementar que privilegiou a compreensão de conceitos através da resolução de problemas com o “*kit Photonics Explorer*”, resultado que claramente não foi atingido pelo grupo controle.

O problema, portanto, não esteve em privilegiar o grupo experimental em detrimento do grupo controle, mas sim os objetivos a nível de avaliação da aprendizagem determinados pelo ensino tradicional e pelo complemento do “*kit*” inspirado numa abordagem por “*Inquiry-Based*

Learning” (adotado neste trabalho). É possível que caso tivesse optado por um teste de avaliação quantitativa baseado em cálculo, que privilegiam a memorização e mecanização de algoritmos matemáticos, as diferenças nos resultados obtidos pelos grupos controle e experimental pudessem ter sido diferentes (com diferenças de médias menores). Essa não foi a nossa opção para este estudo por não contemplar a aprendizagem significativa da ciência. Porém, a nível qualitativo, este estudo deixa claro que por si só o ensino tradicional tem dificuldades em promover a aprendizagem de conceitos e relacioná-los para a resolução de problemas, nomeadamente na área da ótica do 8º ano; o contrário fica evidente quando se considera o ensino e aprendizagem da ótica do 8º ano complementado através da ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” apoiado pela metodologia “*Inquiry-Based Learning*”.

Respondendo à segunda questão, em trabalhos futuros esta limitação poderia ser superada através de um teste para obtenção dos dados muito mais amplo (número de questões e tipologia) do que o aplicado neste estudo, onde as questões tivessem características dos testes que primam pela aprendizagem conceitual e significativa, mas também aquelas convencionais adotadas no ensino tradicional com o propósito de memorização de conceitos e de técnicas de resolução de problemas. Deste modo, aumentando o poder discriminativo da avaliação, seria possível alcançar conclusões estatísticas que permitiriam maiores possibilidades de comparação. Por exemplo, concluir se o tipo de questão interferiu nos resultados obtidos ou como cada grupo comportou-se diante de cada tipo de questão, tornando a discussão mais fidedigna quanto à aprendizagem ou não de acordo com diferentes referenciais adotados.

5.6.2 Limitações quanto a validade externa

Consideramos importante relatar quais as limitações para a validade externa da investigação, já que o objetivo não foi sugerir o “*Photonics Explorer*” implementado através da

metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como solução milagrosa para todos os problemas relacionados com o ensino e aprendizagem da ótica do 8º ano e motivação dos estudantes pelas carreiras científicas e tecnológicas.

Primeiramente esta investigação está limitada em termos de validade externa à Europa, ou pelo menos aos países e respectivas escolas em que os estudantes têm condições semelhantes às aquelas encontradas na maioria dos países do continente europeu. Julgamos que a consideração deste fator é fundamental nesta e em qualquer investigação que considere aplicações práticas no ensino das ciências, pois como bem observa D’Oliveira: “*os estudantes constituem um grupo com características pessoais, atitudinais e socioeconômicas*”, (D’Oliveira, 2007, p. 92).

Deste modo, consideramos pouco provável obter resultados semelhantes aos aqui apresentados, por exemplo, em escolas carentes de países subdesenvolvidos, caso o método (e ferramentas como o teste conceitual de ótica) seja acriticamente reproduzido sem levar em conta um planejamento rigoroso e possíveis adaptações (por exemplo, em um sistema diferente ser feita uma nova avaliação da consistência interna da ferramenta de avaliação utilizada neste estudo, análise de contextos relevantes, etc.). Isto é uma questão importante, pois podemos imaginar, por exemplo, pedir para que estudantes façam uma atividade com fibra ótica sendo que estes nunca tenham ouvido falar numa fibra ótica, como aliás acontece em algumas regiões remotas e pobres de países com baixo IDH. A simples solução de pedir para que estes estudantes acessem a internet e pesquisem sobre fibra ótica, seria uma tarefa difícil para indivíduos carentes de tal modo que só possuam livros porque são doados pelo governo, caso contrário não teriam condições de comprá-los, quanto mais um computador em casa com conexão à Internet.

Enfatizamos mais uma vez que não é impossível obter resultados semelhantes àqueles apresentados nesta investigação em sistemas escolares que diferem significativamente dos

sistemas europeus, até porque o “*Photonics Explorer*”, permite adaptações às atividades assim como aos materiais de apoio, os quais podem ser editados de acordo com o currículo ou a forma como se deseja explorar os conteúdos. Portanto, deixamos como sugestão que em trabalhos futuros se considere primeiramente, o contexto original para o qual o “*Photonics Explorer*” e seus materiais de apoio foram desenvolvidos, ou seja, para escolas de países do continente europeu ou que tenham condições semelhantes. Na sequência desta avaliação, caso necessário, realizar um planejamento onde se possam fazer adaptações às atividades e materiais de apoio da ferramenta para que se adequem a realidade do meio onde se pretende utilizá-la, para que assim os resultados no ensino e aprendizagem da ótica sejam otimizados e façam jus ao que de fato é proposto como princípio fundamental da metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, a saber, uma aprendizagem com significado em detrimento à simples memorização de conteúdos.

5.6.3 Sugestões para estudos futuros com novos cenários e variáveis metodológicas

A seguir, apresentamos algumas sugestões, relativamente ao uso do “*Photonics Explorer*” apoiado pelo método “*Inquiry-Based Learning*” para o ensino da ótica, para investigações futuras:

1. Testar o “*Photonics Explorer*” conjuntamente com o “*Inquiry-Based Learning*”, no nível secundário de Portugal comparativamente aos métodos empregados atualmente, incluindo, a motivação por carreiras científicas e o desempenho em teste conceitual de ótica como variáveis dependentes, assim como, o sexo e a idade dos estudantes como variáveis independentes.
2. Testar o “*Photonics Explorer*”, tal como foi concebido ou em versão adaptada, conjuntamente com o “*Inquiry-Based Learning*”, como recurso para a instrução em ótica em cadeiras básicas de Física de cursos universitários comparativamente aos métodos empregados atualmente. Diferentes variáveis poderiam ser consideradas, como por exemplo, gênero dos participantes, motivação, aprendizagem conceitual, origem dos estudantes quanto a escola pública ou privada, curso superior, etc.

3. Testar o “*Photonics Explorer*” conjuntamente com o “*Inquiry-Based Learning*” em aulas convencionais de Física, a fim de comparar com a implementação na forma de Clube de Ciências.
4. Testar o “*Photonics Explorer*” conjuntamente com o “*Inquiry-Based Learning*” em escolas públicas de Ensino Básico e Secundário do Brasil, a fim de verificar suas potencialidades em outros sistemas escolares que diferem significativamente dos sistemas escolares europeus.

Estas são apenas algumas sugestões entre as diversas possibilidades de estudos que podem ser desenvolvidos com o “*Photonics Explorer*”. O facto é que a ferramenta é inovadora e oferece muitas possibilidades de aplicação prática, as quais precisam ser testadas a nível de eficácia para o ensino e aprendizagem da ótica. Os dados obtidos servirão de referencial para outros sistemas escolares de outros países da União Europeia e de outros continentes que pretendam utilizá-la, além de confirmar se vale a pena gastar recursos financeiros para a sua aquisição.

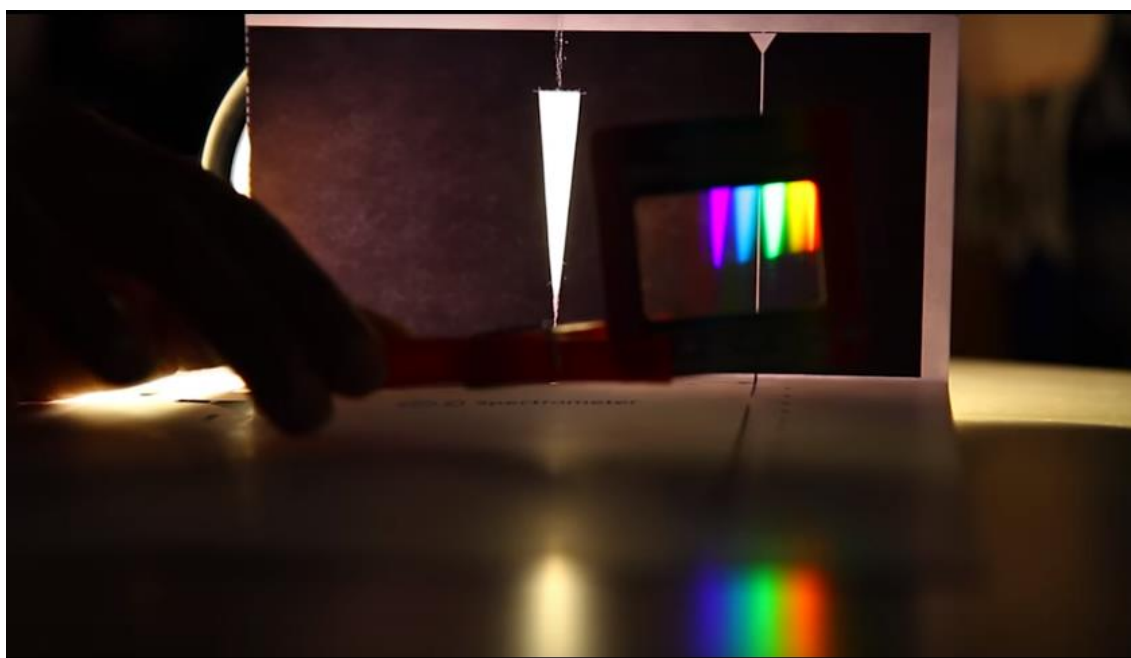
6 Conclusões

Com base na investigação realizada se concluiu que a ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” implementada conjuntamente com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” como complemento ao ensino tradicional na sala de aula, potencializa, em comparação à metodologias e estratégias tradicionais, a aprendizagem conceitual da ótica no 8º ano do ensino básico e desenvolvimento de habilidades “*hands-on*” e “*minds-on*”.

Os resultados positivos para a aprendizagem em ótica no 8º ano (tanto sob o aspecto quantitativo como qualitativo) foram possíveis pelo fato do “*Photonics Explorer*” ter sido desenvolvido com base em princípios teóricos do Construtivismo e da metodologia “*Inquiry-Based Learning*” (IBL), permitindo aos professores assumir o papel de orientadores e não somente de transmissores de informações prontas a serem memorizadas. Os estudantes que utilizaram esta ferramenta pedagógica em Clube de Ciências como complemento à instrução na sala de aula, puderam ultrapassar a fronteira de simples observadores para construtores do próprio conhecimento, onde aprenderam de maneira organizada e significativa, mas não rígida, trabalhando com flexibilidade, semelhantemente à que é frequente encontrar em cientistas e engenheiros.

Os dados obtidos, através das observações diretas e através da interpretação das estatísticas (considerando-se as limitações do estudo), demonstraram que a ferramenta pedagógica “*Photonics Explorer*” implementada com a metodologia “*Inquiry-Based Learning*”, estimula a autonomia dos estudantes e o aumento do interesse pela Física e pela ciência de uma maneira geral. Além disso, o domínio conceitual é significativamente melhorado, facto verificado quantitativamente através das estatísticas realizadas, onde o desempenho no teste de conhecimentos foi não somente positivo a nível absoluto, mas também de Ganho das aprendizagens.

Deste modo, aconselhamos a utilização do “*Photonics Explorer*” associado a metodologia “*Inquiry-Based Learning*” para promover o ensino e aprendizagem conceitual significativo da ótica no Ensino Básico, quando se trata da busca de práticas que permitirão aos estudantes uma melhor compreensão do que é a ciência, de como esta pode contribuir para o entendimento do mundo atual e melhoria da qualidade de vida do ser humano através das tecnologias que possibilita desenvolver.



"Tell me and I forget, show me and I remember, involve me and I understand."

(CONCEPT TO CLASSROOM, 2004)

7 Bibliografia

- AIL2015. (2017). Acesso em 26 de setembro de 2017, disponível em <http://ail2015.org/index.php/haja-luz/>
- Alberta Learning. (2004). Acesso em 30 de outubro de 2017, disponível em <https://open.alberta.ca/dataset/032c67af-325c-4039-a0f3-100f44306910/resource/b7585634-fabe-4488-a836-af22f1cbab2a/download/29065832004focusoninquiry.pdf>
- Alfieri, L., Brooks, P., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does Discovery-Based Instruction Enhance Learning? *Journal of Educational Psychology*, 103, pp. 1-18.
- American Association for the Advancement of Science. (1993-2009). Acesso em 07 de outubro de 2017, disponível em Benchmarks for science literacy: <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php>
- Artigue, M., Dillon, J., Harlen, W., & Léna, P. (december de 2012). The Fibonacci Project: Learning Through Inquiry. Acesso em 12 de julho de 2017, disponível em http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/action_internationale/learning_through_inquiry.pdf
- atomium. (2017). Acesso em 26 de setembro de 2017, disponível em <http://atomium.be/>
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The Many Levels of Inquiry. *Science and Children*, 26-29.
- Bebell, D., Russell, M., & O'Dwyer, L. (2004). Measuring Teachers' Technology Uses: Why Multiple Measures Are More Revealing. *Journal of Research on Technology in Education*, pp. 45-63.
- Bessa, N., & Fontaine, A. M. (2002). Aprendizagem cooperativa numa pós-modernidade crítica. *Educação, Sociedade e Cultura*, pp. 123-147. Acesso em 15 de setembro de 2017, disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/15664/2/82314.pdf>
- Bok, D. (2006). *Our underachieving colleges: A candid look at how much students learn and why they should be learning more*. New Jersey, United States of America: Princeton University Press.
- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom*. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports. Washington: ERIC Publications.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- B-PHOT. (2017). Acesso em 26 de setembro de 2017, disponível em <http://www.b-phot.org/>
- Breakwell, G. M. (2010). *Métodos de pesquisa em psicologia* (3ª ed.). Porto Alegre, Brasil: artmed.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*(31), pp. 21-32.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, pp. 21-32.
- Bruner, J. S., & Goodnow, J. J. (1986). *A study of thinking* (2 ed.). New York: Transaction Publishers.

- Campbell, D. R. (2006). Developing Mathematical Literacy in a Bilingual Classroom. Em J. Cook-Gumperz,, *The social construction of literacy* (pp. 185-217). New York: Cambridge University Press.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1979). *Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa*. São Paulo: EPU/EDUSP.
- Cantillon, P., Hutchinson, L., & Wood, D. (Eds.). (2003). *ABC of learning and teaching in medicine*. London, England: BMJ Publishing Group.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press.
- Carmichael, P., Driver, R., Holding, B., Phillips, I., Twigger, D., & Watts, M. (1990). *Research on students' conceptions in science: A bibliography*. . United Kingdom: University of Leeds .
- Carolan, T. F., Hutchins, S. D., Wickens, C. D., & Cumming, J. M. (August de 2014). Costs and Benefits of More Learner Freedom: Meta-Analyses of Exploratory and Learner Control Training Methods. *Human Factors*, 56 (5), pp. 999-1014.
- Centre for Excellence in Enquiry-Based Learning - University of Manchester. (30 de junho de 2010). Acesso em 25 de outubro de 2017, disponível em <http://www.ceebl.manchester.ac.uk/eb/>
- Chin, C. (2007). Teacher Questioning in Science Classrooms: Approaches that Stimulate Productive Thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(6), pp. 815-843.
- Ciência Viva. (2017). Acesso em 27 de setembro de 2017, disponível em <http://www.cienciaviva.pt/centroscv/rede/>
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (1 revised ed.). New York, San Francisco, London: Academic Press.
- Colburn, A. (março de 2000). An Inquiry Primer. *Science Scope*, 23, n6, 42-44.
- Committee on Undergraduate Science Education, & National Research Council. (1997). *Science Teaching Reconsidered: A Handbook*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- CONCEPT TO CLASSROOM. (2004). Acesso em 25 de outubro de 2017, disponível em <http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/inquiry/index.html>
- CORDIS. (2010). Acesso em 11 de outubro de 2017, disponível em http://cordis.europa.eu/project/rcn/94791_en.html
- Cords, N., Fischer, R., Euler, M., & Prasad, A. (2012). Teaching optics with an intra-curricular kit designed for inquiry-based learning. *Physics Education*, 47, 69-72.
- Costa, J. A. (2000). *Educação em ciências: novas orientações*. Acesso em 18 de outubro de 2017, disponível em https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/4940/1/msc_tpmanogueira.pdf
- D'Angelo, C. M., Rutstein, D. W., & Harris, C. (2014). Simulations for STEM Learning: Systematic Review and Meta-Analysis. *SRI International*. Menlo Park, CA, United States of America.
- de Jong, T. (2006). Computer simulations: technological advances in inquiry learning. *Science*, 312, pp. 532-533.
- De Jong, T., & Lazonder, A. W. (2014). The guided discovery learning principle. Em R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2 ed., pp. 371-390). New York, NY: Cambridge University Press.

- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulation of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, pp. 179-202.
- Debaes, N., Cords, N., Prasad, A., Fischer, R., Euler, M., & Thienpont, H. (2013). Scientific evaluation of an intra-curricular educational kit to foster inquiry-based learning (IBL). *ETOP Proceedings, Education and Training in Optics and Photonics, EWP34*. Porto, Portugal: Optical Society of America. Fonte: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2013-EWP34>
- Dewey, J. (1997). *How We Think*. New York: Courier Corporation.
- dfaup. (2017). Acesso em 27 de setembro de 2017, disponível em <http://dfa.fc.up.pt/>
- DGE. (2017). Acesso em 25 de setembro de 2017, disponível em <http://www.dge.mec.pt/matriz-curricular-do-3o-ciclo>
- DGE. (2017). Acesso em 26 de setembro de 2017, disponível em <http://euroguidance.gov.pt/index.php?c=int&id=2>
- D'Oliveira, T. (2007). *Teses e dissertações: recomendações para a elaboração e estruturação de trabalhos científicos* (2 ed.). Lisboa, Portugal: RH.
- Duarte, M. d. (1999). Investigação em ensino das ciências: influências ao nível dos manuais escolares. *Revista Portuguesa de Educação*, 12 (2), 227-248. Acesso em 17 de outubro de 2017, disponível em https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/7084/1/msc_ccamachado.pdf
- Duschl, R. A. (2003). Everyday assessment in the science classroom. Em J. M. Atkin, & J. Coffey (Eds.), *Assessment of inquiry* (pp. 41-59). Arlington, Virginia: NSTA Press.
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32, pp. 268-291.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O., & Harms, U. (2013). How effective is instructional support for learning with computer simulations? *Instructional Science*, 41, pp. 105-124.
- Eyest. (2017). Acesso em 25 de setembro de 2017, disponível em <http://www.eyest.eu/STEM-Programs/Photonics-Explorer>
- Fathman, A., & Kessler, C. (1993). Cooperative language learning in school contexts. *Annual Review of Applied Linguistics*, 13(2), pp. 127-140.
- FCUP. (2017). Acesso em 25 de setembro de 2017, disponível em <https://www.fc.up.pt/>
- Fischer, R. (2011). Photonics Explorer – an European program to foster science education with hands-on experiments. *Physics - Journal of educational research*, 36. Fonte: <https://arxiv.org/abs/1205.0957>
- Fosnot, C. T. (1999). *Construtivismo e educação: teoria, perspectivas e prática*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (12 de maio de 2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings for the National Academy of Sciences of the United States of America*, pp. 8410-8415. doi:10.1073/pnas.1319030111
- Freire, P. (2000). *Pedagogy of the Oppressed: 30th Anniversary Edition*. Bloomsbury Academic.

- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (september de 2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82, pp. 300-329.
- Gabel, D. (2003). Enhancing the conceptual understanding of science. *Educational Horizons*, 81(2), pp. 70-76.
- Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa* (5ª ed.). São Paulo: Atlas.
- Glasson, G. E. (1989). The effects of hands-on and teacher demonstration laboratory methods on science achievement in relation to reasoning ability and prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), pp. 121-131.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, pp. 64-74. doi:<http://dx.doi.org/10.1119/1.18809>
- Harlen, W. (2015). *Inquiry-Based Learning in Science: assessment and content implications*. Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing.
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Orlando, FL, United States of America: Academic Press.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (3 de december de 2003). The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 28-54. doi:10.1002/sce.10106
- IPN . (2017). Acesso em 11 de outubro de 2017, disponível em Leibniz Institute for Science and Mathematics Education: <https://www.ipn.uni-kiel.de/en>
- IYL2015. (2017). Acesso em 26 de setembro de 2017, disponível em <http://www.light2015.org/Home/About/Latest-News/February2015/LIGHT2015---Photonics--Discover-the-Power-of-Light.html>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. J. (1999). *Aprender juntos e solos*. Buenos Aires: Aique S. A. Acesso em 15 de setembro de 2017, disponível em <http://www.terras.edu.ar/biblioteca/30/30JOHNSON-David-JOHNSON-Roger-Apendice.pdf>
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. (1999). *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Buenos Aires: Editorial Paidós. Acesso em 15 de setembro de 2017, disponível em http://www.terras.edu.ar/biblioteca/3/3EEDU_Johnson_2_Unidad_2.pdf
- Johnson, D. W., Johnson, R., & Holubec, E. (1993). *Cooperation in the classroom*. Edina, MN: Interaction Book Company.
- Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340, 305-308.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75-86.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, London, Massachusetts, England: MIT Press.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, pp. 1-48.

- Klahr, D., Fay, A. L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: a developmental study. *Cognitive Psychology*, 25, pp. 111-146.
- Knight, R. D. (2004). *Five easy lessons*. San Francisco, CA: Addison Wesley; Pearson Education, Inc.
- Kuhn, D., & Dean, D. (2005). Is Developing Scientific Thinking All About Learning to Control Variables? *Psychological Science*, pp. 866-870. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of Inquiry-Based Learning: effects of guidance. *Review of Educational Research*, 20(10), pp. 1-38. doi:10.3102/0034654315627366
- Lipsey, M. W., & Wilson, D. B. (2001). *Practical meta-analysis*. Thousand Oaks, CA, United States of America: SAGE Publications.
- Lopes, J., & Silva, H. S. (2009). *A aprendizagem cooperativa na sala de aula*. Lisboa, Portugal: Lidel - edições técnica, lda.
- Lopes, J., & Silva, H. S. (2009). *A aprendizagem cooperativa na sala de aula: um guia prático para o professor*. Lisboa, Portugal: Lidel.
- Loucks-Horsley, S., & Olson, S. (Eds.). (2000). *Inquiry and the national science standards: a guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- Machado, C. C. (2012). *Metodologias no Ensino das Ciências no 2º Ciclo do Ensino Básico*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Mandrin, P.-A., & Preckel, D. (March de 2009). Effect of Similarity-Based Guided Discovery Learning on Conceptual Performance. *School Science and Mathematics*, 109, pp. 133-145.
- Martínez, N. M., Martínez, I. S., & Gómez, J. E. (1999). Tirando del hilo de la madeja constructivista. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(3), pp. 479-492.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59, 14-19.
- Mazur, E. (2014). *Peer instruction: a user's manual* (1ª; Pearson new international edition ed.). London: Pearson.
- Minner, D., Levy, A., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? *Journal of Research in Science Teaching*, 47, pp. 474-496.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (1998). *Ensinando ciência para a compreensão: uma visão construtivista* (1 ed.). Lisboa, Portugal: Plátano Edições Técnicas.
- Moreira, M. A. (2003). Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos. Burgos/Porto Alegre, Espanha/Brasil. Acesso em 29 de setembro de 2017, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/pesquisaemensino.pdf>
- Morris, S. B. (2008). Estimating Effect Sizes From Pretest-Posttest-Control Group Designs. *Organizational Research Methods*, 11, pp. 364-386.
- Moura, F. A. (2016). Semelhanças e diferenças entre percepções sobre ciência, tecnologia e carreiras científicas: um estudo comparativo entre alunos de uma escola secundária de Portugal e estudo realizado em países Ibero-Americanos. *II Encontro em Ensino e Divulgação das Ciências*. Porto.
- NARST. (2017). Acesso em 17 de 10 de 2017, disponível em <https://www.narst.org/index.cfm>

- National Education Association. (1918). Cardinal principles of secondary education: a report of the commission on the reorganization of secondary education. *U. S. Bureau of Education, Bulletin Nº 35*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC, United States of America: National Academies Press.
- National Research Council. (2001). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC, United States of America : National Academies Press.
- Nogueira, T. P. (2014). *A importância do trabalho prático no ensino das ciências: um estudo da fotossíntese com alunos do 6º ano*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1996). *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano-Edições Técnicas.
- Odora, R. J. (2014). Using Explanation as a Teaching Method: How Prepared Are High School Technology Teachers in Free State Province, South Africa? *Journal of Social Science*, 38(1), pp. 71-81.
- Ogborn, J. (1997). Constructivist Metaphors of Learning Science. (K. A. Publishers, Ed.) *Science & Education*, pp. 121-133.
- Olson, S., & Loucks-Horsley. (2000). *Inquiry and the national science education standards: a guide for teaching and learning*. Washington DC: National Academy of Sciences.
- Olson, S., & Loucks-Horsley, S. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington DC: National Academy Press.
- Olson, S., & Loucks-Horsley, S. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington DC: National Academy of Sciences.
- ORBIT. (20 de september de 2012). Acesso em 17 de october de 2017, disponível em http://oer.educ.cam.ac.uk/wiki/Teaching_Approaches/Questioning
- ORBIT: *The Open Resource Bank for Interactive Teaching*. (8 de june de 2014). Fonte: http://oer.educ.cam.ac.uk/wiki/Teaching_Approaches/Inquiry
- Palacios, F. J., & León, P. C. (2000). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Espanha: Marfil.
- Palmer, G., Peters, R., & Streetman, R. (2003). *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. (M. Orey, Ed.) Zurich, Switzerland. Acesso em 15 de setembro de 2017, disponível em https://textbookequity.org/Textbooks/Orey_Emergin_Perspectives_Learning.pdf
- Panitz, T. (1996). Getting students ready for cooperative learning. *Cooperative Learning and College Teaching*, 6(2).
- Pestana, M. H., & Gageiro, J. N. (2014). *Análise de Dados para Ciências Sociais - A complementaridade do SPSS* (6ª ed.). Lisboa: Sílabo.
- Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology*. New York: Columbia University Press.
- Pombo, P., & Fiolhais, C. (2016). O ano da luz em Portugal. (G. Figueira, Ed.) *Gazeta de Física*, 39 (1/2), 2 - 5. Acesso em 27 de setembro de 2017, disponível em <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119>
- Portal Action. (2017). Acesso em 16 de junho de 2017, disponível em <http://www.portalaction.com.br/inferencia/64-teste-de-shapiro-wilk>

- Portal Action*. (2017). Acesso em 16 de junho de 2017, disponível em <http://www.portalaction.com.br/inferencia/62-teste-de-kolmogorov-smirnov>
- Prasad, A., & Debaes, N. (2013). Photonics Explorer – intra-curricular educational outreach. *41 SEFI Conference*. Leuven. Acesso em 11 de outubro de 2017
- Prasad, A., Debaes, N., Cords, N., Fischer, R., Vlekken, J., Euler, M., & Thienpont, H. (2012). Photonics Explorer: revolutionizing photonics in the classroom. *SPIE 8481, Optics Education and Outreach II*. doi:10.1117/12.979339
- Prasad, A., Debaes, N., Fischer, R., & Thienpont, H. (2013). Developing intra-curricular photonics educational material for secondary schools in Europe. *ETOP, Education and Training in Optics and Photonics*. Porto, Portugal: OSA Publishing. Fonte: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2013-ETuB4>
- Ramsey, I., Gabbard, C., Clawson, K., Lee, L., & Henson, K. T. (1990). Questioning: An Effective Teaching Method. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 63(9), pp. 420-422.
- Redish, E. F. (17 de 7 de 2012). *Teaching Physics with the Physics Suite*. Fonte: University of Maryland: www2.physics.umd.edu
- Reid, D. J., Zhang, J., & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, pp. 9-20.
- Rennie, L. (2007). Learning science outside of school. Em S. K. Abell, & N. G. Lerderman (Eds.), *Handbook of Research on Science* (pp. 67-125). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *EESC*. Acesso em 11 de outubro de 2017, disponível em European Economic and Social Committee: <http://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/rapportrocardfinal.pdf>
- Rosenthal, R. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86, pp. 638-641.
- Saha, L., & Dworkin, A. G. (Eds.). (2009). *International handbook of research on teachers and teaching* (1 ed., Vol. 21). New York: Springer US. doi:10.1007/978-0-387-73317-3
- Schroeder, C. M., Scott, T. P., Tolson, H., Huang, T. Y., & Lee, Y. H. (2007). A meta-analysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, pp. 1436-1460.
- Secker, C. V., & Lissitz, R. W. (1999). Estimating the Impact of Instructional Practices on Student Achievement in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, n 10, pp. 1110–1126.
- Seidel, T., & Shavelson, R. J. (2007). Teaching effectiveness research in the past decade: The role of theory and research design in disentangling meta-analysis results. *Review of Educational Research*, 77, pp. 454-499.
- SP Física*. (2017). Acesso em 27 de setembro de 2017, disponível em <https://www.spf.pt/>
- Tabela das distribuições t ou normal*. (2017). Acesso em 29 de junho de 2017, disponível em <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/psarabando/Estat%C3%ADstica%20%20CA%202009-2010/Tabelas/TabelaTStudent.pdf>

- teAchnology. (s.d.). Acesso em 25 de outubro de 2017, disponível em <http://www.teach-nology.com/currenttrends/inquiry/>
- Treagust, D. F. (2013). General Instructional Methods and Strategies. Em S. K. Abell, & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (1 (Edição do Kindle) ed., pp. 373-392). Focal Press.
- Trowbridge, J., & Wandersee, J. (1998). Theory-Driven Graphic Organizers. Em J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: a human constructivist view* (1 ed., pp. 95-128). San Diego, CA: Academic Press.
- Tuckman, B. W. (2012). *Manual de investigação em educação - metodologia para conceber e realizar o processo de investigação científica* (4ª atualizada ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Tytler, R., Vaughan, P., Hubber, P., & Waldrup, B. (Eds.). (s.d.). *Constructing Representations to Learn in Science*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Universidade de Aveiro. (2017). Acesso em 27 de setembro de 2017, disponível em <https://www.ua.pt/>
- Up2Europe. (2017). Acesso em 12 de outubro de 2017, disponível em https://www.up2europe.eu/european/projects/photonics-explorer-developing-a-photonics-educational-kit-for-europe-s-secondary-schools_6213.html
- Valadares, J. (2001). Estratégias construtivistas e investigativas no ensino das ciências. Porto, Portugal. Acesso em 18 de outubro de 2017, disponível em http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Programas/CE_Programa/publicacoes_estrat_const.pdf
- van Joolingen, W. R., de Jong, T., Lazonder, A. W., Savelsbergh, E. R., & Manlove, S. (2005). Co-Lab: Research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in Human Behavior*, 21, pp. 671-688.
- Von Glaserfeld, E. (1983). Learning as a constructive activity. Em J. Bergeron, & N. Herscovics (Ed.), *Proceedings of the 5th Annual Meeting of the North American Group of Psychology in Mathematics Education*, (pp. 41-101). Montreal. Fonte: <http://www.univie.ac.at/constructivism/EvG/papers/083.pdf>
- Von Glaserfeld, E. (1984). An introduction to radical constructivism. Em P. Watzlawick (Ed.), *The inveted reality* (pp. 41-61). New York: Norton.
- VUB. (2017). Acesso em 26 de setembro de 2017, disponível em <http://www.vub.ac.be/>
- Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and Language*. The MIT Press; revised edition edition.

8 Anexos

8.1 Anexo 1 – materiais de apoio do “*Photonics Explorer*”

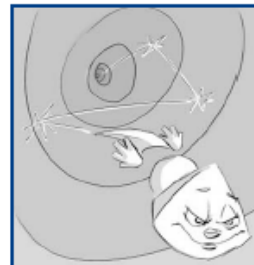
8.1.1 Fichas de informação

8.1.1.1 Sinais luminosos

Comunicar com Luz

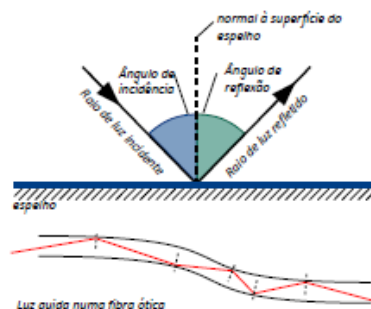
A luz é um meio excelente para a comunicação, não só entre aldeias remotas nos Andes da América do Sul. Efetivamente todas as informações que recebemos com os nossos olhos vêm até nós como luz. Um semáforo vermelho, as imagens na televisão, ou mesmo o sorriso subtil que vemos no rosto de um parceiro de conversa – tudo isto são sinais de luz que transportam mensagens que alguém nos enviou.

Graças à invenção da fibra ótica, é possível enviar sinais de luz ao longo de centenas de quilómetros. O e-mail de um amigo na Austrália e o *blog* na internet com fotos da festa no Algarve – todos eles viajam em torno do globo terrestre como *flashes* de luz. Consegues imaginar um mundo sem comunicação por sinais de luz?



! Informações importantes

- ▶ A luz é rápida. Na verdade, nenhum corpo se pode mover mais rapidamente que a luz.
- ▶ A luz viaja em linha reta, exceto quando incide num obstáculo.
- ▶ A luz tem cores.
- ▶ A luz pode ser produzida por uma fonte de luz natural como o Sol, ou por uma fonte de luz artificial como uma lâmpada. Se a luz for absorvida por um objeto, ela deixa de se propagar.
- ▶ Quando a luz incide num objeto, ela pode:
 - Ser absorvida (por exemplo, por um objeto preto).
 - Passar através de materiais transparentes como o vidro ou a água.
 - Ser espalhada em várias direções, por exemplo sobre uma superfície baça ou quando atravessa o nevoeiro, ou voltar para trás numa direção específica, por exemplo quando se reflete num espelho.
- ▶ Se a luz for refletida num espelho, os raios incidente e refletido têm o mesmo ângulo relativamente à normal à superfície do espelho. O raio de luz incidente, o raio de luz refletido e a normal à superfície do espelho estão no mesmo plano.
- ▶ O envio de sinais de luz através de vários espelhos é muito difícil. É muito mais fácil usar fibras óticas flexíveis para orientar a luz, por reflexão total interna.



Autoestradas de luz no fundo do oceano

Quando vês um *site* na *internet*, é bem possível que a informação que recibes tenha sido enviada por curtos *flashes* de luz através de fibras óticas, ao longo de milhares de quilómetros. A técnica utilizada é a mesma do jogo de fibra ótica. Mas em vez de sinais de luz vermelha, verde e azul, os sistemas modernos enviam e recebem *flashes* muito curtos de luz de 80 cores diferentes, em paralelo.

Juntando várias fibras num único cabo ótico, esses sistemas podem enviar rapidamente enormes quantidades de informações para qualquer ponto do globo. Por exemplo, um único cabo no fundo do mar Mediterrâneo entre o Egito e a França, pode enviar 10 TB (1012 bytes) de dados em cada segundo – o equivalente a 16 mil CD-ROM, ou permitir que todos os habitantes da França façam duas chamadas telefónicas em simultâneo! Cabos semelhantes ligam todos os continentes do globo (exceto a Antártida). Sem essa rede internacional de sinais de luz, a internet como a conhecemos simplesmente não existiria. Podes imaginar todos esses *flashes* de luz propagando-se à volta da Terra? Em princípio, é exatamente o mesmo que poderias ter proposto para as aldeias nos Andes – apenas numa escala maior!

8.1.1.2 Cores



Ficha de informação

cores | arco-íris

O segredo das cores do arco-íris

Então e agora? De onde é que vêm todas as cores do arco-íris? Este é o segredo: Todas as cores do arco-íris estão contidas na luz solar branca. O branco é o resultado da sobreposição (adição) de todas as cores.

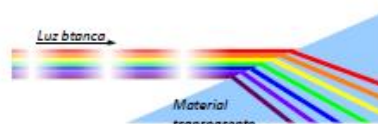
Espera um pouco! Quando misturas as cores do teu conjunto de guaches, o resultado fica cada vez mais escuro à medida que misturas mais cores! Será exatamente esse o efeito que viste ao usar vários filtros de cor, nas tuas experiências? Não parece! Na verdade, os guaches e os filtros de cor, removem cores da luz branca. Em linguagem mais técnica, eles "absorvem" (ou subtraem) as cores. Quanto mais cores se misturam, mais a luz branca é absorvida (ou seja, subtraída) e a cor resultante fica mais escura.

Por outro lado, um arco-íris não remove qualquer das cores da luz solar. Ele resulta da separação das cores! Quando a luz atinge um material transparente sob um ângulo oblíquo, as diferentes cores que compõem a luz branca são desviadas em direções ligeiramente diferentes. No caso de um arco-íris, as cores separam-se um pouco quando a luz entra numa gota de chuva e depois um pouco mais quando saem dela. O mesmo acontece quando a luz passa através de um copo de água ou de uma régua transparente.



Informações importantes

- ▶ A luz solar branca contém todas as cores do arco-íris.
- ▶ Quando a luz atinge um material transparente sob um ângulo oblíquo, as diferentes cores que a compõem separam-se em diferentes direções.
- ▶ Quando partes (ou seja, radiações) da luz branca são absorvidas - por exemplo, por um filtro de cor ou por um objeto colorido - a luz refletida apresentará a cor resultante da sobreposição das radiações que não foram absorvidas.



O mundo a cores

Já alguma vez provaste um tomate verde? Não é tão saboroso como um tomate vermelho! No entanto, por que vemos um tomate maduro como vermelho? Ou por que é que um limão é amarelo? Ou o açúcar branco?



Photonics Explorer | FS 02.1 Rainbow Colours



Um tomate maduro parece vermelho porque absorve todas as cores exceto o vermelho (e talvez também um pouco de laranja), que reflete. Essa luz vermelha espalha-se em todas as direções. Quando alguma dela atinge o teu olho, o teu cérebro interpreta-a como vermelha e assim sabes que o tomate está maduro e suficiente para ser comido. Frutas diferentes têm diferentes substâncias na sua casca que absorvem diferentes radiações da luz solar e, portanto, exibem cores diferentes. O açúcar, assim como o papel branco, espalha (reflete) todas as cores e, portanto, aparecem com a cor branca.

Olha para a fotografia à esquerda. Que diferença esperas encontrar se olhares para ela através de um filtro vermelho, ou de um filtro azul? Quais são as cores do tomate e das canecas azuis quando são observados através dos filtros? Testa a tua previsão e vê se consegues revelar o segredo das cores do arco-íris!

1/1

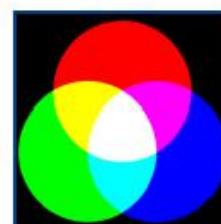
Obter a cor certa

De onde vêm as cores que misturas? A partir do sol? De filtros de cor ou da tinta? Ou de lâmpadas coloridas? Na verdade, não é nenhuma das opções referidas. As cores que vês são gerados dentro do teu cérebro.

As cores não são constantes físicas. Elas existem, literalmente, no olho de quem as vê. Os olhos humanos têm três tipos diferentes de células para reconhecer as cores. Um desses tipos reconhece a cor vermelho, outro reconhece a cor verde e outro reconhece a cor azul. Esta é uma ideia inteligente: em vez de ser sobrecarregado com muitas cores diferentes, o nosso cérebro concentra-se em apenas três. Todas as outras cores que acreditamos que vemos são criados no nosso cérebro, dependendo de intensidade da luz que cada tipo de célula recebe. Assim, é fácil perceber a mistura de cores e isso também explica o facto de um monitor de computador ou uma impressora poderem gerar todas as cores, misturando apenas três cores!

! Informações importantes

- ▶ A cor é uma **percepção**, que resulta da reação do nosso cérebro a diferentes estímulos nos nossos olhos.
- ▶ Existem três tipos diferentes de células nos nossos olhos que "veem" as diferentes cores do arco-íris: vermelho, verde e azul. Assim, a cor que o nosso cérebro percebe resulta da proporção da quantidade de luz que cada tipo de células dos olhos recebe.
- ▶ Os monitores de computador ou os ecrãs dos telemóveis misturam as cores ao controlar o brilho de minúsculas fontes de luz em vermelho, verde e azul. A isto chama-se **mistura aditiva de cores** porque a luz de cores diferentes é adicionada para criar cores novas.
- ▶ As impressoras usam as cores ciano, magenta e amarelo, porque essas cores absorvem, respetivamente, o vermelho, o verde e o azul. Estas cores são impressas como pequenos pontos de tamanhos diferentes para dosear as cores. A impressão em papel branco (que reflete todas as cores) permite que o olho do leitor detete a luz vermelha, verde e azul que o atinge.
- ▶ A obtenção de cores por absorção de partes da luz é chamada **mistura subtrativa de cores**.



Mistura aditiva de cores

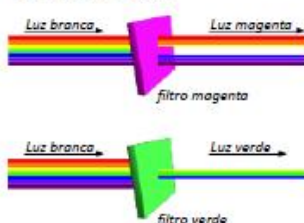


Mistura subtrativa de cores

Relacionando...

Consegues encontrar a relação entre as cores na paleta de cores? Aqui está a solução:

O ciano resulta da mistura aditiva de todas as cores exceto o vermelho.
O magenta resulta da mistura aditiva de todas as cores exceto o verde.
O amarelo resulta da mistura aditiva de todas as cores exceto o azul.



Para divertir...

Observa a fotografia abaixo através de um filtro vermelho e outro ciano, respetivamente no teu olho esquerdo e direito. Fazes alguma ideia do que vai acontecer?



8.1.1.3 Lentes e telescópios



Lentes e Telescópios

Nem sempre se dá o devido valor ao papel que as lentes desempenham em inúmeras aplicações do dia a dia. As lentes são usadas em telescópios para ver com clareza estrelas, planetas e outros objetos astronómicos. As lentes são a base dos microscópios que tornam visíveis as coisas minúsculas, como as células no nosso organismo. As lentes têm contribuído para revelar grandes segredos do mundo, tanto macroscópicos como microscópicos!

! Informações importantes

- ▶ As lentes são "designadas" em função da curvatura das suas superfícies. Se as duas superfícies são curvas designam-se lentes "bicôncavas/biconvexas". Quando têm uma superfície curva e uma superfície plana chamam-se lentes "Plano côncavas/Plano convexas".
- ▶ A distância focal (f) de uma lente no ar depende do seu raio de curvatura e pode ser calculada utilizando a "fórmula do fabricante de lentes":

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{nR_1R_2} \right)$$

Onde n é o índice de refração do material da lente no ar, R_1 é o raio de curvatura da superfície da lente mais próxima do objeto, R_2 é o raio de curvatura da outra lente e d é a espessura da lente. Quando d é pequena esta expressão torna-se a "equação das lentes delgadas" (sem o último termo).

- ▶ O foco é o ponto:
 - onde uma lente convexa concentra todos os raios paralelos que a atravessam (do lado oposto ao objeto)
 - de onde parecem sair todos os raios paralelos que incidem numa lente côncava (do mesmo lado que o objeto)
- ▶ As lentes podem formar imagens reais (que se projetam num alvo) ou virtuais, dependendo do tipo de lente e da posição do objeto em relação ao foco.

Lentes – várias décadas de entretenimento!

A invenção da lupa no ano de 1200 levou à ideia de que certos materiais, quando polidos e para determinados ângulos, podiam refratar e/ou refletir a luz para nos ajudar a ver melhor! Hoje, as lentes são uma parte essencial do nosso mundo. Entender como funciona uma lente e descobrir novas formas de fabricar e moldar lentes, abriu as portas a um mundo totalmente novo!

A indústria do entretenimento seria hoje bem diferente sem as lentes. Os projetores usam uma combinação de lentes para garantir que podemos assistir a um filme com clareza. Os fotógrafos têm uma grande variedade de lentes para captar todos os tipos de imagens, mesmo no escuro! Mesmo as tecnologias digitais, tais como os reprodutores de DVD, utilizam os espelhos e as lentes para ler os dados a partir de um disco.

Enquanto a maioria das lentes pode refratar a luz na parte visível do espectro, os investigadores também se concentram em produzir lentes para as regiões infravermelho e ultravioleta do espectro - embora estas ainda sejam muito caras!

Os cientistas também utilizam as lentes para estudar a possibilidade de "criar um manto de invisibilidade", isto é, tornar invisíveis alguns objetos!

8.1.1.4 Olho e visão



Dentro do Olho

! Alguns dados importantes

- ▶ Os olhos humanos designam-se como olhos "simples".
- ▶ Para "ver", isto é, para que a luz atinja a retina (focagem da luz na retina) a luz tem que passar de um meio com um determinado índice de refração para outro com índice de refração diferente (por exemplo, do ar para a lente).
- ▶ A lente do olho humano, o cristalino, tem um índice de refração próximo do da água ($n = 1,38 - 1,39$).
- ▶ O olho tem sete componentes importantes; **pálpebra, córnea, íris, pupila, cristalino, retina e nervo ótico**.
- ▶ Uma diferença principal entre o olho humano e uma máquina fotográfica, é que esta foca os objetos alterando a distância entre a lente e a película, enquanto que o olho altera a forma da sua lente (cristalino).
- ▶ A córnea permite que a lente do olho altere a sua forma e distância focal. Este processo é chamado de **acomodação**.
- ▶ A potência do olho (lente) é medida em dioptrias e calcula-se pela expressão: $\text{Potência} = 1/\text{distância focal}$. Esta é também a forma como a potência das lentes corretivas é calculada.

Quando os olhos não fazem a acomodação...

Muitas pessoas usam óculos ou lentes de contacto para corrigir a sua visão. Como viste na ficha de trabalho, a lente dos teus olhos pode não "acomodar" o suficiente para formar uma imagem clara. A **miopia** ocorre quando o olho forma uma imagem antes da retina, em vez de ser sobre ela, porque a lente no olho não consegue tornar-se plana o suficiente para focar objetos distantes. Para corrigir este defeito de visão recorre-se a lentes **côncavas** ou **divergentes**.

Na **hipermetropia** a imagem forma-se para além da retina porque a lente do olho não se curva o suficiente para focar objetos próximos. Para corrigir este defeito de visão recorre-se a lentes **convexas** ou **convergentes**.

O **Astigmatismo** é quando a córnea ou a lente do olho não é perfeitamente esférica. Isso faz com que os diferentes raios de luz que entram no olho se foquem em diferentes pontos e a imagem aparece desfocada. O astigmatismo pode ser corrigido com óculos e lentes de contacto. Atualmente, a cirurgia ocular a laser está a tornar-se uma técnica popular de corrigir os defeitos de visão.

Ver debaixo de água e além...

Claro está, a visão não é limitada apenas às pessoas. Nós somos capazes de ver, porque a luz viaja a partir do ar fora dos nossos olhos, refrata-se e é focada pela nossa lente (o cristalino). Muitos animais têm visão altamente sensível e alguns até veem debaixo de água! Mas como é que um peixe vê debaixo de água? A primeira coisa a entender é que os peixes não veem da mesma forma que nós. As lentes deles são perfeitamente esféricas, o que lhes permite ver debaixo de água porque esta tem um índice de refração mais elevado ($n = 1,65$) que os ajuda a focar a luz. Eles focam a luz movendo a lente para dentro e para fora, em vez de esticá-la como nós fazemos. Eles não podem expandir ou contrair as suas pupilas porque a lente move-se através da íris. Para os peixes que vivem em locais mais profundos no oceano, o tamanho do olho do peixe aumenta, a fim de recolher a luz mais tênue. As chamadas **lentes olho de peixe** são populares nas máquinas fotográficas atuais e as fotos que tiram são algo como se mostra na figura ao lado. Temos assim uma ideia de como o mundo é visto por um peixe debaixo de água!



Fotografia do Very Large Telescope do Observatório Europeu do Sul, tirada com uma lente olho de peixe. (ESO / José Francisco Salgado (josefrancisco.org)).

8.1.2 Notas para o professor

8.1.2.1 Sinais luminosos

Notas para o professor

sobre o módulo 1:

Comunicar com Luz

Há mais de dois mil anos que os seres humanos têm usado a luz para enviar e receber informações a longas distâncias. Hoje somos bastante mais dependentes das telecomunicações óticas do que imaginamos. A internet como a conhecemos não existiria sem fibras óticas nos fundos oceânicos, fibras óticas que ligam cidades e até casas particulares. As propriedades básicas da luz dão-nos boas razões para o seu uso nas comunicações.

Neste módulo, a utilização da luz na comunicação é usado como tema para introduzir aos alunos as propriedades da luz, a lei da reflexão e o método científico de investigação.

Resumo: Enquanto os alunos desenvolvem um sistema de comunicações para uma comunidade imaginária nos Andes, eles adquirem conhecimentos sobre as propriedades básicas da luz. Confrontados com o problema de como enviar sinais de luz contornando um obstáculo, eles discutem o fenómeno da reflexão e o funcionamento dos espelhos. Depois de terem sido conduzidos para o processo de propagação da luz por reflexão interna total, os alunos aplicam os seus conhecimentos num jogo, no qual eles constroem um sistema de telecomunicações baseados nas fibras óticas.

O módulo está estruturado em 2 capítulos:

- “Falar num Vale” e “Propriedades da Luz” (ver a página 2); e
- “Comunicação por Fibra Ótica” (ver a página 5).

Dirigido a: 3º ciclo do Ensino Básico (de 12 a 14 anos)

Duração: O primeiro capítulo tem uma duração de duas aulas; o segundo capítulo tem a duração de uma aula.
Cada aula tem aproximadamente 50 minutos.

Conhecimentos prévios dos alunos:

- Não é necessário conhecimento prévio.

Conhecimentos a adquirir pelos alunos:

Factos

- A luz propaga-se rapidamente e em linha reta;
- Distinguir os fenómenos de absorção, espalhamento e reflexão;
- Identificar materiais transparentes;
- Propagação da luz nas fibras óticas.

Competências

- Trabalhar em grupo;
- Trabalhar como Investigadores: desenvolver soluções técnicas, de acordo com especificações dadas.

O módulo inclui:

- 3 fichas de atividades;
- 1 ficha de informação.

Capítulo 1 | Falar num Vale

Proposta de plano de aula

Enquanto os alunos desenvolvem um Sistema de comunicações para uma comunidade imaginária nos Andes, eles adquirem conhecimentos sobre as propriedades básicas da luz.

| Tempo (min) | Atividade | Material |
|----------------------|--|---|
| Primeira aula | | |
| 0 – 35 | Trabalho de grupo: desenvolver um sistema de comunicações Discutir as vantagens da comunicação ótica desenvolvida pelo grupo de alunos | WS01.1 |
| 35 – 50 | Discussão sobre as propriedades da luz e experiências relacionadas: - A luz é percebida pelo olho; - A luz propaga-se rapidamente e em linha reta. | Módulos LED Não incluído no kit: Espelho grande (> DIN A4) |
| Trabalho para casa | Preparação para continuar a discussão. | |
| Segunda aula | | |
| 0 – 25 | Continuar a discussão sobre as propriedades da luz: - A luz é colorida; - A luz atua de modo diferente quando incide sobre objetos diferentes. | WS02.2, Módulos LED, espelhos Não incluído no kit: Objetos com diferentes superfícies. |
| 25 – 40 | Contornar um obstáculo: reflexão | Módulos LED, espelhos |
| 40 – 50 | 'Problema com vários espelhos' | Módulos LED, espelhos |

Descrição da aula

Desenvolvimento de um Sistema de comunicações

Comece por informar os alunos que a tarefa proposta nesta aula é desenvolver um sistema de comunicações - mas sem eletricidade envolvida! De seguida, conte-lhes a seguinte história como pano de fundo para o trabalho em grupo:

Num vale remoto dos Andes na América do Sul, os habitantes decidiram viver sem eletricidade. Alguns anos atrás, o governo quis inundar o vale para construir uma central hidroelétrica. Quando os habitantes protestaram, o governo argumentou que as pessoas do vale poderiam também utilizar a energia elétrica. Em resposta, todos os habitantes das três aldeias do vale juraram que nunca iriam usar qualquer forma de eletricidade, pelo que a central foi construída num outro lugar.

Tem que ser dito, porém, que a população do vale não é de todo contra a tecnologia! Na sua vontade de mostrar ao governo que podem viver sem eletricidade, pelo menos tão bem - se não melhor - como as pessoas na capital, os habitantes criaram inúmeras obras técnicas, como moinhos de água para todos os tipos de máquinas complexas, ou relógios mecânicos extremamente precisos, para citar apenas alguns exemplos.

Os anciãos das três aldeias, em seguida, reuniram-se e decidiram que queriam um sistema de comunicações rápido para ligar as três aldeias - uma primeira tentativa com os pássaros tinha falhado completamente (eles



foram atacados por condores). As mensagens longas poderiam ser enviadas por cartas e levariam metade de um dia, mas assuntos importantes tinham de ser comunicados de maneira fiável, em poucos minutos, a qualquer momento do dia. Determinou-se também que o sistema não devia perturbar qualquer habitante, por exemplo, fazendo ruídos ou prejudicando o meio ambiente. Uma vez que os mais velhos não concordavam com um sistema único, decidiram escrever uma lista dos critérios que o sistema devia cumprir e pediram a todos no vale para tomarem parte numa competição. O sistema vencedor seria implementado e o nome do inventor(es) esculpido(s) na empena da Casa do Conselho de Anciãos, que é a mais alta condecoração no vale.

Peça aos alunos para formarem grupos e encontrarem uma solução para a população do vale. Antes de começarem a trabalhar, dê-lhes um prazo, por exemplo de 15 minutos para conceber uma solução e 2 minutos para apresentá-la à turma. Em seguida, entregue a cada grupo uma cópia da ficha de atividades "Falar no Vale" (WS01.1).

Diga aos alunos que não há uma única solução "boa". O cenário proposto simula uma situação típica que eles poderão encontrar mais tarde na sua vida: num intervalo de tempo limitado, eles terão de chegar a uma solução que satisfaça um determinado critério e poderão ter que competir com outras soluções, para a aprovação do cliente ou do seu chefe.

Após cada grupo apresentar a sua solução, deixe os alunos discutir as vantagens e desvantagens de cada sistema. Qual seria a melhor solução a apresentar aos anciãos da aldeia? Ou seria ainda melhor tentar combinar duas ou mais abordagens para uma solução mais otimizada?

Propriedades da luz

Muito provavelmente, os seus alunos virão com uma ou mais soluções que direta ou indiretamente, utilizam a luz para transmitir uma mensagem; por exemplo, bandeiras, luz ou sinais de fumo de um fogo, ou luz solar refletida por espelhos. Com perguntas do género "como é que recebes o sinal?" (normalmente o olho humano), pode orientar os alunos para a compreensão de que o sinal é realmente transmitido pela luz. Peça aos alunos para explicar por que é que eles utilizariam luz nos sistemas de comunicação propostos; em seguida, use as respostas dadas para sintetizar o que eles já sabem sobre a luz.

Esta discussão poderá tomar diferentes rumos em diferentes turmas e os aspetos importantes da luz podem aparecer por outra ordem. Resuma os resultados dessa discussão no quadro da sala, na forma de declarações curtas (por exemplo, "A luz viaja em linha reta"). Peça aos alunos para fornecerem evidências que suportem cada uma dessas declarações - de preferência com base numa experiência. Registe os exemplos de evidências por palavras-chave, ao lado da respetiva declaração.

Muito provavelmente, a discussão não será concluída dentro dos restantes minutos de aula. Peça aos alunos para copiar para o caderno as declarações e as evidências correspondentes. Como trabalho para casa, eles poderão pensar em propriedades adicionais e atividades para as provar.

No que se segue, alguns aspetos importantes da luz serão mencionados, juntamente com questões de orientação e experiências sugeridas.

A luz é 'vista' pelo olho humano

Relevância para a tarefa de comunicação entre as aldeias: a deteção de sinais de luz é muito simples e rápida, mesmo sem dispositivos elétricos.

Pergunte aos alunos se os seres humanos vêm porque a luz vem de objetos e entra no olho, ou por causa da luz ser emitida do olho para os objetos. Peça-lhes exemplos que apoiem as suas respostas.

É uma conceção alternativa comum entre os estudantes que a visão é baseada em raios emitidos pelo olho. Portanto, tenha em mente que eles devem indicar sempre a luz da fonte (ou objeto iluminado) para o olho, quando representam a trajetória da luz (por exemplo, nas experiências abaixo referidas).

Poderia solicitar aos alunos que olhem nos olhos de um colega. Por que é que a pupila do olho é negra como um quarto escuro? Poderá explicar aos alunos que, assim como não vem luz de um quarto escuro, de igual modo nenhuma luz provém do olho. A luz que atinge a parte de trás do globo ocular é transformada em

pequenos sinais elétricos. Esses sinais elétricos são enviados para o cérebro onde são processados, dando significado à imagem que se está a ver.

A luz propaga-se em linha reta

Relevância para a tarefa de comunicação entre as aldeias: a linha direta entre as aldeias não deve ser bloqueada por obstáculos como montanhas ou florestas.

Pergunte aos alunos qual o caminho que a luz toma - segue um arco como uma bola lançada no ar, ou vai em linha reta? Questionem-os como poderiam provar a sua resposta, de preferência com uma experiência. Se os alunos não encontrarem uma demonstração adequada (mas só nesse caso), poderá sugerir a seguinte:

Um aluno segura o módulo de LED e envia sinais de luz, enquanto outro observa a fonte de luz a alguns metros de distância. Pode, então, pedir a um terceiro aluno para cobrir a fonte de luz com uma mão e de seguida, mover lentamente a mão em direção ao observador, de modo que a fonte de luz permanece obstruída. Os outros alunos devem observar a trajetória da mão e ver que ela segue uma linha reta entre a fonte de luz e o observador.



Figura 1.1: Experiência que ilustra que a luz se propaga em linha reta

Para cada experiência, peça aos alunos que descrevam o que observam, fazendo uma clara distinção entre observação e interpretação. O que pode ser comprovado com esta experiência e como ela poderia contrariar uma certa interpretação? Por exemplo, seria correto concluir a partir da experiência anterior que a luz não tem massa (e, portanto, não tem peso)?

Outra forma de demonstrar que os feixes de luz viajam em linhas retas, é cobrir um candeeiro de mesa numa sala escura, de modo que a luz só pode passar por um buraco com cerca de meio centímetro de diâmetro. O feixe de luz pode ser visível com um pouco de *spray* de água (de um pulverizador, por exemplo utilizado para fins de jardinagem ou limpeza). Esta experiência também ilustra que a luz só é visível se ela atingir os nossos olhos diretamente, ou se for redirecionada a partir de outro objeto para os nossos olhos. No caso da pulverização de água, a luz proveniente da lâmpada atinge as gotas de água, onde é refletida em todas as direções.

A luz propaga-se rapidamente

Relevância para a tarefa de comunicação entre as aldeias: uma vez que nada é mais rápido do que a luz, esta pode ser usada para os sistemas de comunicação mais rápidos.

Uma das razões mais importantes pela qual os alunos usam a luz no sistema de comunicação sugerido é provavelmente a velocidade - que é precisamente por isso que as redes atuais de telecomunicações internacionais são baseadas na luz.

Para dar aos alunos uma ideia sobre o valor da velocidade da luz, coloque um espelho numa das extremidades da sala e peça a dois ou três alunos para ficarem na outra, de modo que eles possam ver-se no espelho. Em seguida, dê a cada um o módulo de LED RGB do *kit* e peça-lhes para estimarem o tempo que decorre entre o momento em que um botão é pressionado no módulo e o momento em que cada um vê no espelho que a luz se acendeu. Esta é uma reprodução bastante simples da experiência de Galileu para medir a velocidade da luz, que lhe dará oportunidade de esclarecer com os alunos os aspetos básicos da propagação e perceção da luz. Peça aos alunos para explicarem passo-a-passo o que acontece nesta experiência, orientando-os com questões para a descrição da seguinte sequência de observações:

- 1) O aluno pressiona um botão do módulo de LED;
- 2) A luz é enviada da fonte;
- 3) A luz propaga-se em todas as direções (caso contrário, os colegas ao lado não podiam ver que a luz estava acesa), a menos que esteja a ser bloqueada por um obstáculo;
- 4) Uma parte da luz atinge o espelho e regressa ao meio inicial, o que em termos técnicos, é chamado de "reflexão" (mas desta vez ela não regressa em todas as direções, caso contrário os colegas observando as experiências do lado seriam capazes de ver a luz no espelho);
- 5) Alguma da luz refletida atinge os olhos dos alunos, nos quais provoca uma sensação que estimula o cérebro que, por sua vez, a interpreta como significado de "ver a luz".

Os alunos que participam na experiência vão (provavelmente) concordar que a luz viajou para o espelho e depois voltou para os seus olhos tão rapidamente, que não puderam medir o intervalo de tempo que levou a efetuar esse trajeto.

Para dar uma ideia do que é a velocidade da luz, pode compará-la à velocidade do som: somente os aviões especiais podem voar mais rápido que a velocidade do som. Pergunte aos alunos se já repararam que numa tempestade não se vê o raio e ouve o trovão ao mesmo tempo. Eles provavelmente vão concordar que primeiro veem o relâmpago e só depois ouvem o trovão; este facto pode ser usado para provar que a luz é muito mais rápida (cerca de 874 000 vezes) do que o som.

Outro exemplo elucidativo é que se a luz viajasse ao longo da superfície da Terra em torno do globo, poderia dar 7,48 voltas à Terra em apenas um segundo!

A luz é colorida

Relevância para a tarefa de comunicação entre as aldeias: A cor, por exemplo de uma bandeira, pode transportar informação adicional e tornar as comunicações mais eficazes.

Como seria a luz sem cores? Alguns alunos podem responder 'preta'. Esta é uma oportunidade para então discutir e explicar que um objeto aparece preto para nós, se nenhuma luz vier dele para os nossos olhos!

É provável que alguns coloquem perguntas ou expressem ideias sobre as cores, que podem não se enquadrar no âmbito da discussão. Nesse caso, anote-as para si mesmo(a) e faça-os saber que as irá discutir mais tarde, numa aula dedicada às cores.

A luz atua de maneira diferente sobre objetos diferentes

Relevância para a tarefa de comunicação entre as aldeias: a comunicação ótica pode ser dificultada por obstáculos ou nevoeiro.

Uma desvantagem da comunicação ótica é que qualquer obstáculo na linha direta entre o emissor e o recetor dificulta a luz de atingir o seu destino. Mas como é que a luz se comporta se incidir num objeto? Aponte objetos diferentes na sala de aula, como a parede, uma janela, uma superfície de plástico brilhante, um objeto preto ou um pedaço de papel branco, e pergunte o que acontece quando a luz incide nessas superfícies.

Em seguida, entregue a ficha de trabalho "A luz incide na matéria" (WS01.2). O ponto 1 desta ficha de trabalho foi projetado para permitir que os próprios alunos descubram o que acontece com a luz quando encontra diferentes superfícies. Dê aos alunos tempo suficiente para trabalhar (e jogar) livremente, incentivando-os a anotar todas as observações nas três perspetivas de visualização.

Provavelmente, os alunos vão precisar da sua ajuda para classificar as diferentes superfícies em categorias (ponto 2). Dê-lhes tempo para desenvolver as suas próprias categorias e orientá-los com perguntas. Um possível sistema de categorias de superfície seria:

- Absorvora;
- Espalhamento;
- Refletora; e
- Transparente/Translúcida.

Contornar um obstáculo

O ponto 3 da folha de trabalho "A luz incide na matéria" (WS01.2) é concebido para fazer a transição da discussão sobre as propriedades da luz para a reflexão da luz. Se necessário, ajude os alunos a concluir da sua investigação (com a folha de trabalho) que as superfícies refletoras podem ser usadas para direcionar a luz em torno de obstáculo.

Voltando à tarefa inicial de desenvolvimento de um sistema de comunicação para o "Vale da Luz", poderá perguntar aos alunos como eles poderiam enviar sinais de luz contornando uma grande rocha que está a dificultar a visão direta entre duas das aldeias. Muito provavelmente vão sugerir o uso de um espelho para "ver em torno da rocha". Então, pergunte-lhes como iriam responder ao Conselho de Anciãos do Vale, se fossem convidados a indicar o sítio onde colocar esse espelho e a como orientá-lo.

Espelhos

Para estudar esta questão, coloque dois objetos, representando as aldeias, nas duas extremidades da mesa do professor e um obstáculo, por exemplo uma mochila, entre eles. Os objetos devem ser posicionados de modo que, *mais tarde*, dois alunos possam facilmente olhar do alto da mesa de uma "aldeia" para a outra, para verificar se o espelho está instalado corretamente.



Figura 2.1 Montagem do problema na mesa do professor, para o desafio do espelho

Diga aos alunos que espera que eles lhe forneçam instruções claras sobre como colocar um espelho em cima da mesa, de modo que os sinais de luz possam ser enviados entre as duas "aldeias". Esta instrução deve tornar possível resolver o problema na perspetiva do alto da mesa, e ser uma regra genérica que também daria uma posição e orientação corretas para o espelho, se os objetos foram colocados de forma diferente sobre a mesa. Soluções empíricas como "virar o espelho até que se possa ver a outra aldeia" não são permitidas! Como dica, pode perguntar aos alunos quais os requisitos que a posição do espelho tem que cumprir (o espelho tem que ser visível a partir de ambas as aldeias).

Deixe os alunos estabelecer grupos de trabalho e distribua os espelhos, para que eles possam experimentar livremente. Sugira a utilização de desenhos ou esquemas para ajudar a resolver o problema. Eles também podem usar a ficha de trabalho "A luz incide na matéria" para saberem mais sobre o comportamento da luz na reflexão - e poderem, assim, descobrir a lei da reflexão por si mesmos. Desloque-se entre os diferentes grupos, mas não fique mais do que alguns minutos com o mesmo grupo.

Se um grupo indicar que encontrou uma solução, permita a sua apresentação através do envio de dois membros do grupo à mesa do professor. Enquanto posiciona o espelho de acordo com as instruções dos alunos, no caso das instruções não serem ainda corretas ou suficientemente específicas, *não oriente* o espelho para que ele permita que sinais de luz sejam enviados de uma "aldeia" para a outra – caso contrário, estaria a resolver o problema pelos alunos! Deixe que um dos alunos tente enviar sinais com o módulo de LED do objeto que representa uma aldeia, enquanto o outro aluno observa, do alto da mesa, com os olhos próximos do objeto que representa a segunda aldeia (ver figura 2.1).

Se os alunos tiverem sucesso na formulação de uma instrução adequada, deixe-os tentar enviar sinais de luz em ambos os sentidos entre as duas aldeias. Pergunte aos alunos se é uma regra geral que os caminhos de luz são reversíveis.

Embora seja relativamente fácil encontrar empiricamente a posição correta do espelho, pode levar algum tempo para os alunos formularem uma instrução geral sobre como colocar o espelho. Uma instrução possível (os alunos podem muito bem chegar a melhores soluções) seria usar as extremidades da mesa:

- 1) Encontre a parte da lateral da mesa que é visível a partir de ambas as "aldeias".

Extremidade da mesa visível de ambas as aldeias



Figura 2.2 Os triângulos ilustrar a "visão" das aldeias. O espelho deve ser colocado onde seja visível a partir das duas aldeias.

- 2) Duplica a distância entre uma das aldeias e o lado onde está o espelho (figura 2.3) e marque este ponto (por exemplo, segurando lá um lápis). De seguida, idealize a linha direta que une este ponto à segunda aldeia. Segure o espelho contra o lado da mesa onde essa linha imaginária cruza a lateral da mesa.

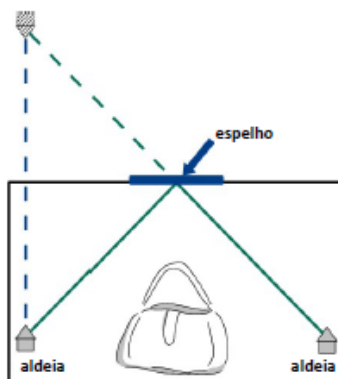


Figura 2.3 Uma solução possível para o desafio do espelho.

Leis da reflexão

Se o tempo permitir, pode introduzir aos alunos a definição formal das leis da reflexão. Note que alguns alunos podem já ter encontrado (partes) por eles próprios. É fundamental que eles partilhem as suas observações com os colegas da turma. Todos os grupos podem, então, testar as observações dos colegas da turma com a ficha de

trabalho "A luz incide na matéria": se os alunos rodarem o espelho em torno do centro do semicírculo, eles vão observar que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

Se introduzir a definição formal da lei da reflexão, lembre-se que os alunos devem registrá-la na ficha de informação (FS01.1), que deverá ser entregue no final da aula seguinte.

'Problema com vários espelhos'

Após os alunos terem aplicado a lei de reflexão com um espelho, peça-lhes para refletirem sinais de luz usando dois e depois três espelhos. Um grupo de estudantes deve enviar sinais de luz para a mesa vizinha. De lá, a luz deverá ser refletida a 90 graus para a próxima mesa e assim por diante. Após quantos espelhos podem os alunos ainda detectar o sinal?

Os alunos rapidamente verão que, com um número crescente de espelhos, a tarefa torna-se cada vez mais desafiadora. Informe-os que na próxima aula irá mostrar-lhes um truque sobre como enviar luz de forma a esta contornar tantos cantos quantos se quiser.

Informação geral

Diferentes formas de comunicação ótica

O sentido da visão e a comunicação ótica estão intimamente ligados. A comunicação ótica não está, por conseguinte, limitada aos seres humanos, mas é normalmente usada pelos animais com visão. Formas típicas de comunicação não-verbal é o uso de cores (por exemplo, por um besouro para indicar que é tóxico, ou no caso dos seres humanos, por exemplo, roupas escuras para indicar luto), gestos e expressões faciais.

Os seres humanos têm desenvolvido muitas formas diferentes de técnicas óticas para comunicar a longas distâncias. Exemplos disso são os indicadores de incêndio, sinais de fumo, bandeiras, heliografias e semáforos.

As heliografias usam um espelho para refletir a luz solar para um observador a uma distância de 50 km ou mais. Ao bloquear a luz ou ao mover o espelho, é possível gerar *flashes* de luz e enviar uma mensagem, por exemplo, usando o código Morse.

Os semáforos são sistemas instalados em locais amplamente visíveis. As linhas de semáforos designam cadeias de várias estações de retransmissão, onde a informação de um sinal foi lida e reproduzida num novo sinal, que deverá ser enviado à estação seguinte da linha.

Hoje, a comunicação ótica é baseada em tecnologias de transporte de luz tais como as fibras óticas, que permitem enviar sinais de luz ao longo de centenas de quilómetros.

Possíveis perguntas dos alunos

Porquê usar o módulo LED se ele utiliza a eletricidade?

A eletricidade foi banida do sistema de comunicação para incentivar os alunos a encontrar soluções óticas para o problema em causa. No entanto, nas experiências de sala de aula é muito mais seguro e é mais conveniente utilizar o módulo LED como fonte de luz do que, por exemplo, velas.

Qual é o peso da luz?

A luz não tem massa, mas pode comportar-se como se pesasse alguma coisa. Contudo, esta não é uma propriedade direta da luz, mas sim uma consequência dos efeitos físicos descritos por Einstein na sua teoria da relatividade. Grandes massas, como o sol, podem deformar o espaço ao seu redor pelo que a luz (que se propaga em linha reta através do espaço deformado) "dobra". Durante um eclipse solar, é assim possível ver as estrelas que estão, na verdade, por detrás do sol.

O que dizer sobre a invisibilidade?

Antes de responder à pergunta, pode discutir com os alunos o que realmente faz com que um objeto seja visível: a luz de uma fonte como o Sol e as lâmpadas, ou a luz refletida quando incide num objeto e é refletida ou espalhada por esse objeto. Se uma parte dessa luz alcança os nossos olhos, ou se uma luz por detrás dos

objetos - que seria de esperar que chegasse aos nossos olhos - é bloqueada pelo objeto, detetamos a presença daquele.

Os mantos de invisibilidade são habitualmente usados pelos heróis dos contos de fadas e na ficção científica. Contudo, os cientistas têm feito alguns progressos no desenvolvimento deste efeito em laboratórios. Quando a luz atinge esses "mantos de invisibilidade", ela é defletida em torno do objeto e continua para além dele, (quase) como se nenhum obstáculo estivesse no caminho. Todavia, o objeto só será invisível para um observador cujos olhos estão limitados a ver num determinado comprimento de onda (cor) e com uma polarização particular (o observador é, portanto, gentilmente solicitado a não inclinar a sua cabeça).

Uma questão interessante (que também irá revelar a compreensão da visão pelos alunos) é "o que se poderia ver de dentro do manto de invisibilidade". Uma vez que toda a luz é desviada em torno do manto, seria completamente escuro lá dentro e nada poderia ser visto - um inconveniente que se prevê limitar o sucesso comercial destes mantos no mercado consumidor!

Capítulo 2 | Comunicação por fibra ótica

Proposta de plano de aula

Os alunos aprendem como a reflexão interna total é usada para guiar a luz numa fibra ótica. Incorporado este efeito num jogo, eles desenvolvem o seu próprio código de sinal de luz e usam-no, juntamente com uma fibra ótica, para enviar mensagens.

| Tempo (min) | Atividade | Material |
|-------------|--|--|
| 0 – 15 | Reflexão interna total Propagação da luz em fibras óticas | Laser, Fibra ótica de polímero <i>Não incluído no kit:</i> Copo, água, leite |
| 15 – 40 | Jogo sobre comunicações em fibra ótica | Fibra ótica de polímero módulos LED |
| 40 – 50 | Reflexão sobre a aula | FS01.1 |

Descrição da aula

Preparação

Leia o texto e veja as imagens no subtítulo "Reflexão interna total". Para preparar as experiências, é aconselhável que tenha realizado alguns testes antes da aula, para ver quanto leite deverá colocar na água para o melhor efeito visual desejado.

Pense em pelo menos duas palavras comuns formadas por 10 letras e anote-as. Poderá ir buscar inspiração a páginas da web que ajudam a encontrar soluções para palavras cruzadas.

Reflexão interna total

Lembre os alunos das dificuldades que tiveram no envio de luz que se refletia várias vezes. Nesta aula, irá mostrar-lhes um truque que lhes permitirá enviar sinais de luz ao longo de centenas de quilómetros.

Pegue num copo de vidro com lados retos e longos e encha-o com água. Misture uma quantidade muito pequena (tipicamente, uma gota) de leite na água e dirija o feixe de raios laser para o vidro, como mostra a figura 3.1:



Figura 3.1 Ilustração da reflexão interna total

Explique que a superfície da água é um outro tipo de espelho, que só funciona se a luz atingir a superfície sob um ângulo de incidência elevado (quanto menor for o ângulo de incidência, mais a luz se perde através da superfície). A fim de demonstrar que esta reflexão obedece à mesma lei da reflexão sobre um espelho metálico, aumente o ângulo de incidência e mostre que é o mesmo que o ângulo de reflexão. Como é natural, esta experiência será melhor conseguida num ambiente escurecido!

Pergunte aos alunos o que vai acontecer se direcionar o feixe para o vidro, como mostra a figura 3.2. De seguida, demonstre este efeito:

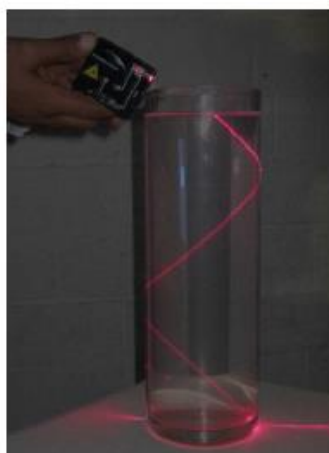


Figure 3.2 Reflexões internas múltiplas

Se possível, mostre aos alunos o feixe laser a ser refletido várias vezes dentro do copo de vidro. Pergunte-lhes para onde a luz iria se o vidro fosse muito longo (por exemplo, dois metros). Ajude-os a concluir que o feixe laser não iria deixar o copo até que atinja o fundo. Se os alunos observarem que o feixe de luz se torna mais e mais fraco, deverá elogiá-los por essa boa observação e explicar que poderiam reduzir este problema se não tivessem leite na água. No entanto, sem o leite seria muito mais difícil de ver o feixe. De modo a torná-la visível,

uma parte da luz tem de ser dispersa pela gota de leite, o que faz com que o feixe fique menos intenso. Alguma luz também se perde nas reflexões, se o ângulo de incidência não for suficientemente grande.

Poderá ainda questionar os alunos como este efeito poderá ser usado para enviar sinais de luz e deixá-los discutir durante algum (pouco) tempo os problemas técnicos que lhe estariam associados. Mostre-lhes a fibra ótica de polímero que se encontra no *kit*. Explique que o efeito é exatamente o mesmo que o observado no copo de água, apenas com a diferença que a fibra é muito longa e fina e feita de plástico, o que a torna mais flexível. Pergunte-lhes o que esperam que aconteça, se a luz for enviada de uma extremidade da fibra e, em seguida, deixe que os alunos experimentem: peça a dois estudantes que se sentem em lados opostos da sala de aula, pegando cada um deles numa extremidade da fibra e dê-lhes um módulo LED.

Para facilitar a visualização pelos alunos de como esta fibra guia a luz, poderá fazer um desenho simples como o seguinte (figura 3.3):



Figura 3.3 Propagação da luz numa fibra ótica, baseada na reflexão interna total.

Comunicação por fibra ótica

Quando os alunos estiverem familiarizados com o envio de luz através da fibra ótica, pode apresentar-lhes a tarefa final deste módulo: desenvolver o seu próprio código para o envio de uma mensagem através da fibra.

Recomenda-se que deixe a turma construir duas equipas concorrentes. O objetivo é o de comunicar uma palavra de 10 letras, tão rápido quanto possível, através da fibra. Para este fim, cada uma das duas equipas terá que desenvolver o seu próprio código.

1. Quando as duas equipas estiverem formadas, entregue a cada uma delas uma cópia das regras do jogo (WS01.2) e dois módulos LED. Diga-lhes que têm apenas 15 minutos para desenvolver o código e escrever duas cópias do mesmo: uma para o emissor e outra para o recetor.
2. Prepare duas folhas de papel, cada uma com uma palavra de 10 letras, que serão as mensagens. Dobre o papel de modo que a palavra não possa ser vista.
3. Após 15 minutos, recolha os códigos. Os alunos de cada equipa têm de decidir quem fará parte do grupo emissor e quem fará parte do grupo recetor.
4. A equipa que joga primeiro separa os seus grupos de emissor e recetor no máximo comprimento que a fibra permite (aproximadamente 5 m). A segunda equipa fica no meio, entre o emissor e o recetor e assegura que a outra equipa não faz batota.
5. Devolva os códigos para os grupos de emissor e recetor, respetivamente.
6. Dê à equipa emissora um dos papéis com a palavra de 10 letras para ser enviada, mas peça aos alunos para não desdobrá-la até que inicie o jogo.
7. Prepare um cronómetro e segure num clipe de papel. Aguarde silêncio. Deixe então cair o clipe, e apenas quando se ouvir claramente o clipe bater no chão, inicie o jogo.
8. Durante esta parte do jogo, terá de haver silêncio absoluto!
9. Vá até ao grupo recetor e pare o relógio quando eles lhe entregarem um papel com a palavra corretamente escrita.
10. Se a mensagem recebida for incorreta, diga-o aos alunos e dê-lhes uma quantidade razoável de tempo para a corrigir.
11. Deixe então a segunda equipa jogar sob as mesmas condições (pontos 4 a 10).

Reflexão sobre a aula e ficha de informação

Após o jogo, permita que os alunos discutam se os seus códigos funcionaram ou não e se uma das abordagens era melhor do que a outra. Que aspetos do código fizeram a diferença e que outros fatores influenciaram o resultado final? O que fariam de diferente se jogassem o jogo de novo? Será que eles gostaram da aula?

Explique aos alunos que eles estavam apenas a trabalhar como engenheiros: um cliente - aqui os anciãos da aldeia - pede uma solução (pode ser um produto ou serviço) para um problema. O cliente define as condições e especificações que uma solução potencial tem de cumprir - por exemplo, um sistema de telecomunicações que opera sem eletricidade. Dentro de um intervalo de tempo fixo, a equipa de engenharia tem de encontrar uma solução que atende a essas condições. Muitas vezes, existem várias soluções concorrentes de diferentes equipas (empresas). A fim de convencer o cliente, a solução tem de atender às necessidades e expectativas do cliente, tanto quanto possível, com relação ao custo, fiabilidade, sustentabilidade ambiental, etc..

Muitas vezes, o desenvolvimento de novas soluções técnicas requer engenheiros para 'jogar' (experimentar livremente) com efeitos práticos, e então determinar e compreender as leis da natureza que governam esses efeitos. Se for o caso, pode lembrar os alunos da forma como eles descobriram a lei da reflexão. Finalmente, uma boa solução de engenharia geralmente combina diversos campos, como no caso da comunicação por fibra ótica: a) a física da reflexão interna total, b) a química para fazer fibras óticas flexíveis e c) a tecnologia da informação para codificar, enviar e depois decodificar uma mensagem, de uma forma que faça uso otimizado do equipamento físico.

Antes de terminar a aula, entregue a ficha de informação e explique aos alunos como a tecnologia que eles desenvolveram, ou seja, de telecomunicações com base em fibras óticas, mudou o nosso mundo (ver ficha FS01.1).

Possíveis perguntas dos alunos

Como são feitas as fibras óticas

As fibras óticas são frequentemente feitas a partir de vidro extremamente limpo. Hoje em dia, há fibras também feitas de outros materiais, como polímeros ou misturas de vidro especial. No entanto, a tecnologia básica para fazer esses filamentos de vidro (ou polímeros) extremamente finos e, portanto, flexíveis permaneceu a mesma desde o século XVIII, quando essas fibras de vidro eram usadas para decoração: o material é aquecido até se tornar líquido apenas o suficiente para se formar uma gota e cair. Esta gota fica unida ao resto do material através de um filamento muito fino. Este filamento, que se converterá na fibra, pode ser trabalhado para estabilizar o seu diâmetro. Este processo realiza-se atualmente por máquinas que medem continuamente a espessura da fibra e em função desta, controlam a velocidade de um cilindro no qual a fibra é enrolada. Para proteger a fibra, é normalmente colocado um revestimento de plástico.

Uma experiência simples para ilustrar esta técnica é pegar numa colher de mel e deixar que caia uma pequena gota. Ao rodar a colher ou ao levantá-la, pode-se controlar a espessura da "fibra" de mel que une a gota ao resto do mel na colher.

8.1.2.2 Cores

Notas para o professor

sobre o módulo 2:

Cores

As cores chamam a nossa atenção. Do mesmo modo que os especialistas em marketing utilizam anúncios coloridos para publicitar um determinado produto, também se pode utilizar as cores para atrair a atenção dos alunos para as ciências.

Provavelmente, parecer-lhe-á que este módulo apresenta as cores de uma forma distinta da maioria dos livros de texto. O objetivo das fichas de exercícios não é «explicar» o fenómeno das cores, mas sim utilizá-las para que os alunos se familiarizem com o método científico. Os alunos devem formular uma hipótese, desenhar e realizar as suas próprias experiências, compreender a diferença existente entre a observação e a interpretação dos resultados e justificar as suas conclusões. Conceda aos seus alunos o tempo necessário para que investiguem e realizem as suas próprias descobertas, ainda que em alguns casos seja necessário fazer alguns desvios. Por vezes, os alunos que mais proveito tiram das lições são aqueles que demonstram que a sua hipótese estava errada.

Resumo: Os alunos aprendem como se criam e misturam as cores.

O módulo divide-se em 2 capítulos:

- **Cores do arco-íris:** os alunos descobrem como funcionam os filtros de cores e usam-nos para estudar a origem das cores do arco-íris.
- **Mistura de cores:** a mistura subtrativa de cores explica-se através da impressão a cores; a mistura aditiva de cores explica-se através dos monitores dos computadores.

Dirigido a: 3º ciclo do ensino básico (de 12 a 14 anos)

Duração: cada capítulo tem a duração aproximada de 100 min.
No total, 4 aulas ou 200 min.

Conhecimentos prévios dos alunos:

- As pessoas vêem os objetos, porque a luz procedente daqueles incide nos seus olhos.

Conhecimentos a adquirir pelos alunos:

Factos

- A luz do Sol contém todas as cores do arco-íris
- A luz branca pode decompor-se em várias cores, porque sofre refração
- Os filtros e objetos com cores aparecem coloridos porque absorvem partes do espectro visível
- A mistura aditiva de cores é explicada, tomando como exemplo os ecrãs dos computadores
- A mistura subtrativa de cores é explicada, tomando como exemplo a impressão a cores
- A cor resulta de uma perceção

Competências

- Trabalhar com o método científico.
- Planear experiências para comprovar uma hipótese.
- Distinguir entre observação e interpretação dos resultados de uma experiência.

O módulo inclui:

- 2 fichas de atividades
- 2 fichas de informação

Capítulo 1 | O segredo das cores do arco-íris

Proposta de plano de aula

Os alunos devem observar várias formas de criar as cores do arco-íris e explicar de onde provêm. Descobrirão como funcionam os filtros de cores e utilizarão os mesmos para concluir que a luz branca do Sol contém todas as cores.

| Tempo em minutos | Atividade | Material |
|----------------------|---|---|
| Primeira aula | | |
| 0 – 10 | Introdução | |
| 10 – 50 | Os alunos trabalharão em grupo para realizar a ficha de exercícios «O segredo das cores do arco-íris» | WS02.1 Filtros de cores <i>Não incluído no kit:</i> CD |
| Segunda aula | | |
| 0 – 30 | Segunda aula: continuar o trabalho de grupo sobre a ficha de exercícios | Idem |
| 30 – 50 | Entregar e comentar a ficha de informação | FS02.1 Filtros de cores |

Descrição da aula proposta

Preparação

Ainda que a ficha de exercícios inclua imagens a cores, não é imprescindível imprimi-la a cores. No entanto, a ficha de informação deve imprimir-se a cores (pelo menos uma cópia por grupo).

Para realizar as experiências deste módulo são precisos vários CD. Tenha em conta que, provavelmente, depois da aula os CD ficarão inutilizados e não se poderá gravar neles qualquer informação.

É recomendável dedicar a este capítulo dois blocos de aulas.

Introdução

Comece a aula pedindo aos alunos que descrevam as suas próprias vivências com o arco-íris. Pergunte-lhes se gostam de observar os arco-íris e o que sabem sobre eles. De seguida, informe os alunos que nas duas aulas seguintes trabalharão em grupos para descobrirem a origem das cores do arco-íris.

A ficha de exercícios «O segredo das cores do arco-íris»

Distribua a ficha de exercícios «O segredo das cores do arco-íris» (WS 02.1). Peça a um(a) aluno(a) que leia em voz alta a introdução e a outro(a) que leia a primeira atividade (Ponto 1). Depois de se assegurar que a turma compreendeu o que se pediu no exercício, proponha que cada grupo descubra as suas próprias formas de originar o arco-íris. Os alunos mais rápidos podem avançar para o Ponto 2 enquanto os outros grupos terminam o Ponto 1.

De seguida, os alunos devem apresentar ao resto da turma as suas propostas para criar o arco-íris. Peça-lhes que prestem muita atenção às experiências, uma vez que estas podem dar-lhes ideias para descobrir mais

adiante a origem das cores do arco-íris. Se a luz solar não for suficientemente intensa para poder realizar todas as experiências na aula, discuta com os alunos onde viram o arco-íris, se em casa ou se ao ar livre.

Quando todos os grupos tiverem terminado o Ponto 2, leia com os alunos o breve fragmento com que começa a segunda página. Solicite-lhes que retirem tudo o que têm em cima das mesas e que coloquem apenas uma folha de papel branco sobre elas. A regra indicada na ficha de exercícios deve ajudar a reduzir o número de filtros de cor que se podem extraviar entre as folhas dos livros de texto ou dos cadernos. Entregue um kit de filtros de cores e um CD a cada grupo e deixe que trabalhem independentemente, até terminarem a ficha de exercícios.

Alguns alunos sentem a tentação de ver o trabalho dos outros grupos ou inclusive perguntar diretamente qual a resposta às perguntas da ficha de exercícios. Explique à turma que a ficha de exercícios não é um exame, que não há só uma resposta correta para cada pergunta e que se pode chegar a conclusões acertadas através de diferentes experiências. As perguntas são uma ajuda para os alunos encontrarem a causa das cores do arco-íris, com as suas próprias investigações. Por outro lado, a qualidade de uma experiência depende quer da sua planificação e execução, quer da qualidade da observação e da interpretação racional e crítica dos resultados. O elo mais fraco desta cadeia processual determina a qualidade de todo o estudo.

No Ponto 5, os alunos devem idealizar uma experiência, para provar as evidências que demonstrem as hipóteses levantadas no Ponto 4. Percorra os diferentes grupos e comente com eles o que entendem por «evidências». Assegure-se de que todos compreendem este conceito, tão importante para o trabalho de um(a) investigador(a).

Na segunda página da ficha de exercícios, os alunos devem concluir que os filtros de cores absorvem parte da luz branca. A restante radiação, que passa através do filtro, aparece colorida. Se perceber que um grupo tem problemas com a Atividade 8, ajude-os com perguntas orientadoras.

Na terceira página, os alunos usarão um CD para observar que parte do espectro visível ou das «cores do arco-íris» absorve cada filtro (pontos 9 e 10). Os alunos deverão chegar à conclusão que a luz branca do Sol contém todas as cores do arco-íris e que resulta, assim, de uma combinação de todas elas. Nenhuma das perguntas da ficha de exercícios especifica este facto, para evitar dar demasiada informação aos alunos que avançam mais rápido com as atividades da ficha. Assim, os comentários deverão ser feitos a cada grupo de forma individual quando estão a trabalhar no Ponto 10 da ficha de exercícios.

As tarefas dos pontos 11 e 12 são mais complexas que as anteriores, por dois motivos. Por um lado, trata-se de dar aos grupos mais lentos a oportunidade de alcançar os mais rápidos. O segundo motivo, mais importante, é dar à turma uma nova ocasião de aplicar o método científico. Alguns grupos elegerão diretamente a hipótese correta, isto é, que a superfície do CD decompõe a luz proveniente do sol e modifica a sua direção. Ao contrário, outros partirão de ideias diferentes. Independentemente da hipótese que cada grupo eleja, solicite-lhes que justifiquem as suas conclusões mediante experiências já conhecidas, ou que idealizem outras atividades para comprovar se a sua hipótese está certa. Se verificar que os alunos têm uma argumentação com pontos débeis, ajude-os a identificar e clarificar os problemas por si mesmos.

Debate sobre a ficha de informação «O segredo das cores do arco-íris»

Distribua as fichas de informação e peça a um(a) aluno(a) que leia o texto até à secção «Alguns dados importantes». Comente com a turma as experiências realizadas durante a aula e em que medida elas corroboram as afirmações do texto.

Tenha em conta que a ficha de informação trata fundamentalmente das cores do arco-íris, não do caso específico dos arco-íris gerados por gotas de chuva. Não obstante, se os alunos estiverem interessados em aprofundar este tema, pergunte-lhes por que razão na ilustração da parte superior direita da página, os azuis aparecem em primeiro no desenho das cores que saem da gota de água, enquanto o vermelho se encontra em último lugar. Comparando esta imagem com fotografias do arco-íris (primários) gerados em nuvens, pode-se observar que o arco vermelho aparece sempre por cima do azul. A ilustração que se segue pode ajudar a explicar este efeito. Ajude os alunos a compreender que um arco-íris é formado por luz proveniente de inúmeras gotas de chuva e que a cor de cada gota depende, principalmente, do ângulo que a vemos em relação ao Sol.

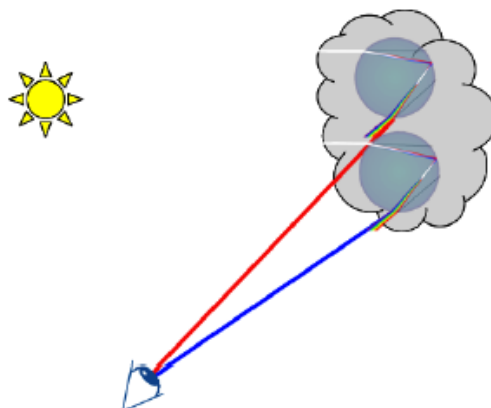


Figura 1: a cor vermelha aparece sobre o azul nos arco-íris primários

Se decidir explicar os arco-íris mais detalhadamente, seria interessante propor-lhes uma tarefa que explique por que é que o arco-íris tem a forma de um arco. Os alunos têm à sua disposição muitos recursos para realizar as suas investigações. Podem explicar por escrito, com um desenho ou com um modelo.

Reserve algum tempo para comentar a secção “Alguns dados importantes” com os alunos. Como fariam os alunos para explicar e demonstrar as três afirmações a um outro aluno que não tivesse compreendido a aula?

Informação geral

Cores do arco-íris

Neste módulo, o termo “cores do arco-íris” refere-se ao espectro visível da radiação eletromagnética. Simplificando desta forma o conceito, poderá trabalhar com as propriedades espectrais da luz sem se referir aos comprimentos de onda ou à natureza ondulatória da luz.

Como pode observar, a ficha de exercícios refere repetidamente a *luz branca do Sol*. É preferível utilizar a luz do Sol em vez da artificial, uma vez que a maioria das fontes de luz, tais como os tubos fluorescentes ou as lâmpadas fluorescentes compactas (conhecidas como “lâmpadas de baixo consumo”), não emitem um espectro contínuo. Esta característica é importante ao realizar as experiências descritas na ficha de exercícios. Esta temática é estudada mais a fundo na ficha de exercícios WS07.3 do módulo “Difração e interferência” (dirigido a alunos mais velhos, do ensino secundário).

Arco-íris

Pode encontrar muitas páginas web com valiosas informações, ilustrações e inclusive animações, para explicar a física dos arco-íris com maior ou menor grau de detalhe (por exemplo, <http://www.atoptics.co.uk/bows.htm>). Dada a abundância de material disponível, este documento não aprofunda as explicações sobre estes fenómenos.

Gotas de chuva e CD

Para sermos rigorosos, os efeitos físicos que provocam a decomposição da luz numa gota de chuva e num CD são diferentes. No caso de uma gota de chuva ou de um prisma, o ângulo de refração (ângulo que a normal ao plano de incidência da radiação faz com a direção dessa radiação no cristal ou na água) depende do comprimento de onda (cor) da luz. A intensidade da refração, por outro lado, depende da diferença da velocidade da luz antes e depois de entrar num meio ótico como o cristal ou a água. As ondas eletromagnéticas de todos os comprimentos de onda visíveis propagam-se aproximadamente 30 % mais rápido no ar do que na água ou num cristal, embora a velocidade de cada uma delas quando incide nestes meios seja ligeiramente diferente entre si. Este fenómeno, denominado “dispersão”, faz com que as radiações dos vários comprimentos



de onda descrevam um ângulo diferente ao saírem da gota de chuva, o que provoca a decomposição da luz branca nas cores do arco-íris.

Pelo contrário, as cores da superfície de um CD decompõem-se por efeito dos fenómenos de difração e de interferência. Estes fenómenos serão tratados mais a fundo nas notas para o professor do módulo "Difração e interferência" (M07), do Capítulo 3. Esta diferença não é importante para os objetivos educativos deste módulo.

Possíveis perguntas dos alunos

1) Onde vai parar a luz que os filtros de cor absorvem?

A luz transporta energia que, quando é absorvida, transfere-se para o meio que a absorveu e transforma-se num determinado tipo de energia. No caso dos filtros de cor, a luz absorvida transforma-se em energia interna e, portanto, o material aquece.

Pode ilustrar este fenómeno recordando aos alunos a sensação de Sol intenso na pele. À semelhança dos filtros de cor, a pele absorve parte da luz e, consequentemente, sentimos aquecimento da pele. Os protetores solares atuam como filtros de radiação e protegem a nossa pele: contêm pequenas partículas que absorvem (ou refletem) os invisíveis raios UVA, impedindo que estes danifiquem a nossa pele.

2) Pode um filtro de cor deixar passar a luz de várias cores?

Ao realizar a experiência descrita nos pontos 9 e 10 da ficha de exercícios, é possível que os alunos se apercebam que o espectro que se vê através de um filtro de cor não é monocromático. Por exemplo, um filtro azul também deixa passar radiação verde e anil. Este facto também está contemplado na ficha de informação, já que a luz que passa através de um filtro de cor e é refletida por um objeto colorido, não é totalmente monocromática.

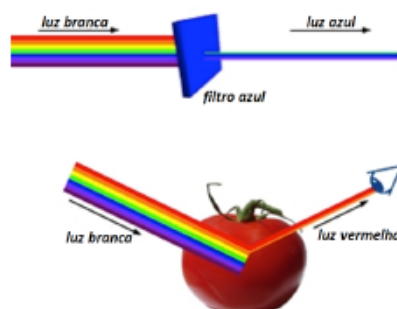


Figura 2: a luz azul de um filtro azul e a luz vermelha que reflete um tomate, não são exatamente monocromáticas [FS02.1]

A resposta imediata a esta pergunta é: "sim, é possível projetar filtros de cor que absorvam partes concretas do espectro de cores do arco-íris. Os engenheiros podem, até, regular a quantidade de cada cor que é absorvida".

Contudo, os alunos podem encontrar a resposta a esta pergunta por si mesmos na ficha de exercícios "Conseguir a cor exata". É conveniente voltar a colocar esta questão quando comentar a ficha de informação do capítulo seguinte.

Capítulo 2 | Conseguir a cor exata

Proposta de plano de aula

Os alunos terão que misturar várias cores para obter uma cor que se assemelhe o mais possível à dos olhos de um(a) colega da turma. Aprenderão como se misturam as cores na impressão em *offset* e jato de tinta, como exemplos da mistura subtrativa de cores. Para explicar a mistura aditiva de cores, utilizar-se-á como exemplo o monitor de um computador. No final do capítulo, os alunos terão aprendido que as cores são uma percepção e que o processo mais importante da mistura de cores tem lugar no cérebro.

| Tempo em minutos | Atividade | Material |
|--------------------------------|--|--|
| Primeira aula | | |
| 0 – 10 | Introdução | |
| 10 – 50 | Trabalho individual e em grupo, sobre a primeira página da ficha de exercícios "Conseguir a cor exata". Mistura subtrativa de cores | WS02.2 Filtros de cor Lentes (f=30 mm) <i>Não incluído no kit:</i> Lápis de cor ou outro material para colorir |
| Trabalho de casa ou aula extra | Segunda página da ficha de exercícios: mistura aditiva de cores | WS02.2, <i>Não incluído no kit:</i> Computador, Lupa potente |
| Segunda aula | | |
| 0 – 10 | Comentar o trabalho de casa | WS02.2 |
| 10 – 35 | Trabalho em grupo, para realizar a terceira página da ficha de exercícios: cores primárias | WS02.2, Filtros de cor, Lentes (f=30 mm) |
| 35 – 50 | Entrega e comentário da ficha de informação | FS02.2 Filtros de cor |

Descrição da aula proposta

Preparação

Ainda que a ficha de exercícios inclua imagens a cores, não é imprescindível imprimi-la a cores. No entanto, a ficha de informação deve imprimir-se a cores (pelo menos uma cópia por grupo).

Para realizar a segunda página da ficha de exercícios é necessário um computador com um monitor a cores e um programa que disponha de um menu de seleção de cores. Pode trabalhar esta parte na aula recorrendo a uma sala de informática da escola, ou deixar que os alunos realizem os pontos 6 a 10 em casa. Se optar por utilizar a sala de informática da escola, não se esqueça que pode ter que reservar a mesma com antecedência.

Opcional: inclua a possibilidade de fazer coincidir este capítulo com as aulas sobre este tópico da disciplina de Educação Visual. Estudar as cores de várias perspetivas será enriquecedor para os alunos.

Introdução

Pergunte aos alunos qual é a cor favorita deles. Quando vários alunos tiverem respondido, pergunte-lhes por que gostam mais dessa cor. Enquanto a turma estiver implicada no debate, dirija a discussão no sentido de

concluir como se «conseguem» obter as diferentes cores, dando alguns exemplos. Provavelmente, os alunos irão sugerir que as cores se obtêm misturando outras cores. Informe os alunos que nas aulas seguintes eles aprenderão as duas técnicas básicas para misturar cores.

Mistura subtrativa de cores – impressão a cores

Distribua a ficha de exercícios “Conseguir a cor exata” (WS02.2). Solicite aos alunos que leiam o Ponto 1 da ficha de exercícios e assegure-se que eles compreendem a atividade. Dê entre 5 e 10 minutos para a realizar. É conveniente deixar claro o tempo de que dispõe antes de começarem a trabalhar. Enquanto pintam o olho, pode ir explicando que a íris de cada olho é única, pelo que pode ser usada para identificar as pessoas. Este sistema já não é somente visto nos filmes de ficção científica, mas emprega-se realmente como alternativa às impressões digitais. Todavia, como toda a técnica biométrica de identificação pessoal, tem certos riscos. Os alunos que terminem antes dos seus colegas podem debater os prós e os contras dos sistemas de reconhecimento de pessoas através da íris.

Quando os alunos tiverem terminado a primeira atividade, pergunte-lhes quantas cores utilizaram para obter o resultado desejado. De seguida, escolha e mostre uma ilustração impressa num livro, ou se todos tiverem esse livro, identifique-a. Como se imprimem estas ilustrações? Deixe a pergunta em aberto e distribua as lentes de $f=30$ mm que funcionarão como lupas. Durante o resto da aula, os alunos devem trabalhar em grupos para responder às questões 3 a 5 da ficha de exercícios. Uma vez terminada a atividade da página, utilize a ilustração seguinte (faça fotocópias ou projete-a num alvo) para explicar a técnica empregue para misturar as cores impressas:

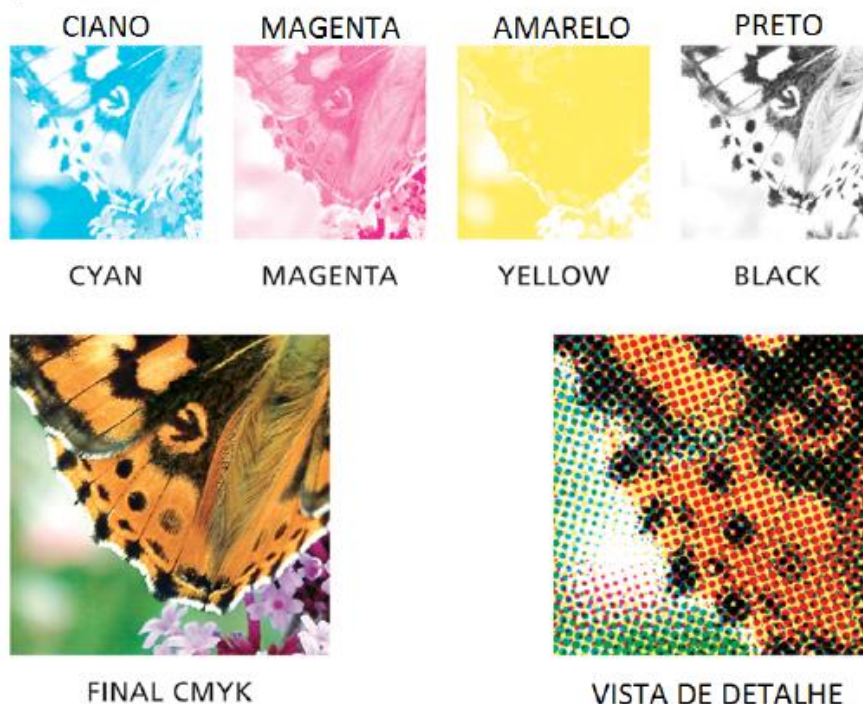


Figura 2: as ilustrações impressas a cores consistem em pequenos pontos das cores ciano, magenta, amarelo e preto (CMYK, pelas suas siglas em inglês)

(imagem registada pelos Serviços de Documentação da Universidade de South Australia; o seu uso está restrungido a fins educativos)

A maioria das ilustrações a cores que podemos ver nos livros, nas revistas ou nos invólucros dos produtos, são formadas por quatro cores impressas e dispostas exatamente umas sobre as outras. Cada impressão é de uma cor: ciano, magenta, amarelo ou preto. A quantidade de tinta de cada uma destas impressões determina a

intensidade da cor correspondente, que se controla modificando o tamanho dos pequenos pontos de uma trama regular. Obviamente, fica muito económico obter o espectro de cores na íntegra, que podemos apreciar nas ilustrações, a partir de somente 3 cores e do preto. No final do capítulo os alunos descobrirão como isto é possível.

Mistura aditiva de cores – monitores de computador

A segunda página da ficha de exercícios trata da mistura aditiva de cores e utiliza os monitores de computador como exemplo. Se optar por sugerir que os alunos trabalhem este tema em casa, assegure-se de que todos têm acesso a um computador, com um programa adequado de tratamento de imagens. É importante que os pais ou outros familiares os ajudem, pois é um estímulo e melhora a aprendizagem. No entanto, se a escola tiver uma sala de informática disponível, podem lá trabalhar esta segunda página da ficha de exercícios, em contexto de aula.

Muitos programas informáticos dispõem de um menu de seleção de cores. No entanto, estes menus tendem a ser mais sofisticados nos programas de edição de fotografias. Por outro lado, tais programas permitem aos alunos experimentar livremente as diferentes ferramentas de cor de que dispõem e comprovar os resultados num exemplo. Este exercício será benéfico em três sentidos: os alunos ganham maior sensibilidade pelas cores, aprendem a misturá-las como uma aplicação real e importante para o seu dia-a-dia e sobretudo, divertem-se. Se não tiverem instalado qualquer programa de edição de fotografias no computador, os alunos podem utilizar um *software* livre, como o «gimp» (<http://www.gimp.org/>), que funciona com todos os sistemas operativos habituais.

A Figura 3 mostra um fragmento ampliado de um monitor de computador, semelhante ao que os alunos verão através das lupas (a imagem apresenta uma superfície mate que melhora a impressão visual do observador, mas causa pequenas heterogeneidades). Como se pode ver na imagem, cada pixel é formado por uma banda vermelha, uma verde e outra azul. Se ajustar o brilho de cada uma destas bandas ao máximo, o pixel será branco. Se escurecer as três bandas, o pixel será preto. Para obter as restantes cores, regula-se o brilho de cada uma das bandas.

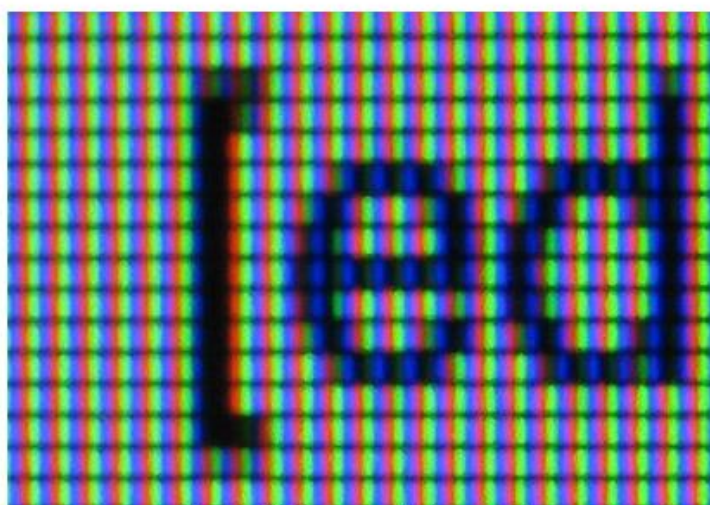


Figura 3: pixels de um monitor de computador.

A imagem mostra um parênteses reto preto «(» seguido das letras «ed» num fundo branco.

Para completar a tabela do Ponto 9 da ficha de exercícios, bastará anotar os valores correspondentes ao vermelho, ao verde e ao azul. No entanto, se desejarem, os alunos podem registar todos os parâmetros do menu. Comente com eles o significado de cada parâmetro enquanto trabalham no Ponto 9, na aula ou quando

corrigirem o trabalho de casa (ver “Menu de seleção de cores”, da informação geral). Um exemplo do preenchimento da tabela do Ponto 9 pode ser:

| Color | R | G | B |
|----------|-----|-----|-----|
| Vermelho | 255 | 0 | 0 |
| Verde | 0 | 255 | 0 |
| Azul | 0 | 0 | 255 |
| Ciano | 0 | 255 | 255 |
| Magenta | 255 | 0 | 255 |
| Amarelo | 255 | 255 | 0 |

A ficha de informação contém a resposta à pergunta do Ponto 10. Não se refira ainda a esta pergunta, já que os alunos continuarão a trabalhar este aspeto na terceira página da ficha de exercícios.

Cores primárias

A terceira página da ficha de exercícios centra-se na importância dos tripletos de cores ([vermelho, verde, azul] e [ciano, magenta, amarelo]) e da relação existente entre eles. Esta série de experiências rápidas ilustra a função destas cores nas misturas subtrativa e aditiva de cores. O Ponto 15 inclui uma pergunta muito semelhante à do Ponto 10, mas mais específica. Quando os alunos tiverem terminado a ficha de exercícios, pode comentar com eles o Ponto 15 como forma de transição para a ficha de informação.

(NOTA: Tenha em conta que devido a um erro de fabrico dos módulos LED, o LED vermelho pode parecer mais “fraco” que o azul e que o verde. Por conseguinte, o resultado das experiências dos pontos 13 e 14 serão menos claros que deveriam, até que se obtenham módulos melhorados para o *Photonics Explorer kit*).

Debate sobre a ficha de informação

Distribua fotocópias a cores da ficha de informação. Esta página sumaria o que foi aprendido na ficha de exercícios e oferece respostas às perguntas colocadas anteriormente. Introduza ainda os termos “mistura aditiva de cores” e “mistura subtrativa de cores”. Ainda que não necessitem destes termos para realizar a ficha de exercícios, os alunos devem familiarizar-se com eles.

Peça a um aluno que leia a introdução da ficha de informação, em voz alta. Dedique tempo a comentar o facto das cores serem uma percepção e o motivo pelo qual se pode afirmar que “se produzem” no cérebro. Para avaliar se os alunos compreenderam as explicações destes dois parágrafos, peça-lhes que expliquem a última afirmação com um exemplo.

Depois de comentar com a turma a secção “Alguns dados importantes” e de responder às perguntas formuladas nos pontos 10 e 15 da secção “A relação...”, peça aos alunos que usem o anáglifo do canto inferior direito da página. Se seguirem as instruções, poderão ver a imagem em 3D. Explique-lhes que as pessoas são capazes de ver a três dimensões porque o olho esquerdo e o direito vêem as imagens em perspetivas ligeiramente diferentes. O nosso cérebro é, mais uma vez, o que combina a informação de ambas as imagens para formar uma impressão em 3D. Quando observamos uma imagem convencional impressa a cores, ambos os olhos vêem o mesmo. No entanto, nos anáglifos, sobrepõem-se duas imagens: a perspetiva do olho esquerdo a vermelho, e a do olho direito a ciano. Se for colocado um filtro adequado à frente de cada olho, cada um poderá ver somente a perspetiva que lhe corresponde. Na Internet encontrará numerosos exemplos de anáglifos que pode projetar ou imprimir para os alunos.

Informação geral

Encontrará informação adicional sobre a visão na informação geral das notas para o professor do módulo “O olho e a visão”.

Menu de seleção de cores

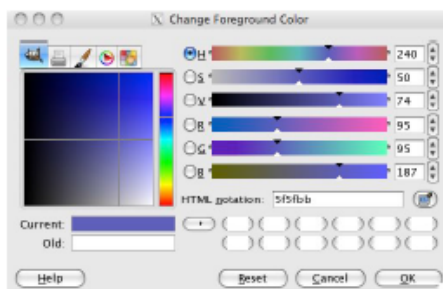


Figura 4: menu de seleção de cores de um programa de edição de fotografias

A aparência do menu de seleção de cores pode variar em função dos diferentes programas. A maioria dos menus oferece mais de uma representação das cores disponíveis. No entanto, praticamente todos os menus de seleção de cor oferecem os seguintes parâmetros para ajustar a cor:

- As letras «R», «G» e «B» que correspondem aos raios vermelho, verde e azul, respetivamente. Modificando esses valores entre 0, o valor mínimo para o brilho e 255, que é o valor máximo, pode-se ajustar o brilho de cada uma das bandas do campo “Atual” (o que mostra a cor ativa). Os valores de RGB descrevem as cores de acordo com um sistema cartesiano de coordenadas.
- As letras «H», «S» e «V» correspondem a «matiz», «saturação» e «valor». A combinação destes três parâmetros é outra forma, quem sabe mais intuitiva, de descrever uma cor. Estes parâmetros mudam automaticamente quando o usuário seleciona uma nova cor. Os valores de HSV representam as cores num sistema de coordenadas cilíndrico. O valor «matiz» («H») refere-se ao ângulo, tal que as opções do parâmetro formam um círculo (os valores máximo e mínimo correspondem-se praticamente à mesma cor).
- A «Notação HTML» não é mais que uma representação hexadecimal dos valores do vermelho, do verde e do azul. Os dois primeiros dígitos correspondem ao vermelho, o terceiro e o quarto ao verde e os dois últimos ao azul. Este sistema é empregue para descrever as cores de fundo das páginas web.

Como se faz um anáglifo?

Pode propor aos alunos um projeto, que consistirá em criar os seus próprios anáglifos. Para tal só é necessário uma máquina digital e um computador que disponha de um programa de edição de fotografias.

Em primeiro lugar, deve tirar uma fotografia na perspetiva do olho esquerdo e uma outra na do olho direito. As duas posições da máquina devem estar a uns 7 cm de distância (distância normal entre os olhos) e as duas orientações bem alinhadas.

A seguinte descrição, passo a passo, é correspondente ao programa «gimp». Outros programas de edição de fotografias oferecem processos semelhantes, ainda que os nomes possam variar ligeiramente.

- 1) Abra a vista do olho direito. Através do menu “Ficheiro | Abrir como Camadas” (File/Open as Layers), abra a vista do olho esquerdo como outra camada (layer) da mesma fotografia.
- 2) Na janela «Ferramentas» (Tools) selecione a ferramenta «Preencher» (Bucket fill) das “Ferramentas de Pintura” e certifique-se de que está ativada a opção «Preencher toda a seleção». Selecione o preto como cor de preenchimento.

- 3) Aceda ao menu «Selecionar / Tudo» (Select | All) para selecionar toda a imagem.
- 4) Consulte a janela «Camadas – Pincéis» (Layers, Channels). Esta janela dispõe de várias opções. A «Camadas» mostra as duas fotos nas diferentes perspetivas. Clique na camada «Fundo» (Background).
- 5) Vá a «Pincéis» (Channels). Normalmente estão selecionados os quatro canais: o vermelho, o verde, o azul e o alfa (aparecem a azul sombreado). Faça clique nos canais «Verde», «Azul» e «Alfa» para os desativar (aparecerão sombreados a cinzento), de tal modo que apenas o «Vermelho» fique ativo.
- 6) Faça duplo clique sobre a foto grande. Os ícones pequenos situados junto ao nome do canal «Vermelho» devem passar a negro (já que eliminou a parte vermelha na perspetiva do olho direito).
- 7) Volte à «Camadas» e selecione a camada superior, isto é, a perspetiva do olho esquerdo. Logo debaixo do nome da janela «Camadas» encontrará o menu «Modo» (Mode). Selecione «Adição» (Addition). Assim, o computador fará a mistura aditiva de cores das duas camadas.
- 8) Regresse a «Pincéis» e desative os canais «Vermelho» e «Alfa».
- 9) Faça duplo clique na imagem principal para eliminar os canais «Azul» e «Verde» na perspetiva do olho esquerdo.
- 10) Feito! Comprove os resultados do efeito a 3D com um filtro vermelho e outro ciano. Se não obtiver o resultado esperado, provavelmente é porque o alinhamento das câmaras não foi suficientemente exato.

Possíveis perguntas dos alunos

1) Quantas cores podemos ver?

Depende muito das condições de observação e de cada pessoa. No entanto, estima-se que o olho humano pode distinguir cerca de 10 milhões de cores.

8.1.2.3 Lentes e telescópios

Notas para o professor

sobre o Módulo 3

Lentes e Telescópios

As lentes são um componente ótico indispensável. No entanto, entender como elas funcionam não é trivial! As lentes têm uma ampla variedade de aplicações, nomeadamente em telescópios que nos permitem olhar para objetos astronômicos. Neste módulo, os alunos vão começar a trabalhar com as lentes e aprender, por eles próprios, sobre fenômenos interessantes.

Capítulo 1| A trajetória da Luz

Proposta de plano de aula

Os alunos estudam lentes côncavas e convexas e aprendem sobre como e onde as lentes focam a luz. Também aprenderão a distinguir imagens reais de imagens virtuais.

Sumário: Os alunos vão aprender como é que as lentes côncavas e convexas focam a luz e vão construir os seus próprios telescópios de Galileu e de Kepler, observando, com eles, objetos distantes.

O módulo consiste na exploração de uma ficha de trabalho:

- O caminho da Luz

Dirigido a: Alunos do 3º ciclo do ensino básico (de 12 a 14 anos).

Duração: O Capítulo tem a duração aproximada de 50 minutos.

Conhecimentos prévios dos alunos:

- Conhecimentos básicos sobre lentes.
- Lentes côncavas e convexas.

Conhecimentos a adquirir pelos alunos:

- Como as diferentes lentes focam a luz.
- O conceito físico de "ponto focal".
- A diferença entre imagem real e imagem virtual.
- Como construir dois tipos de telescópios.
- Como calcular a ampliação de um telescópio.
- O conceito de campo de visão.

Competências a adquirir:

- Trabalhar em grupo.
- Trabalhar com lentes e diagramas simples de construção de imagens (diagramas de raios).
- Construir a sua própria experiência e relacionar as observações com a teoria.

Este módulo inclui:

- 1 ficha de trabalho.
- 1 ficha de informação.



| Tempo em minutos | Atividade | Material |
|------------------|--|--|
| 0-20 | Trabalho de grupo: Descobrir como as diferentes lentes focam a luz e estudar as propriedades da imagem obtida. Criar e preencher a tabela de registros. Resolver a Q 2). | 3 lentes (distâncias focais +30 mm, -30 mm e +150 mm), módulo LED <i>Não fornecido:</i> Objeto para focar, por exemplo uma tampa de refrigerante com letras ou uma figura. |
| 20-40 | Construção dos telescópios de Galileu e de Kepler. | |
| 40-50 | Discussão em grande grupo sobre os resultados. | |
| TPC | Nenhum | |

Descrição da aula proposta

Inicie a aula pedindo aos alunos para "investigarem" o que são as lentes. Diga-lhes que registem os dados numa tabela como a sugerida na ficha de trabalho. A ideia principal é que eles analisem *qualitativamente* as imagens. Para esta experiência, é desejável que os alunos usem um objeto que tenha uma orientação óbvia, de modo que possam facilmente identificar quando ocorre inversão da imagem. Por exemplo uma tampa de refrigerante com texto sobre ela ou um rosto sorridente desenhado num cartão ou papel.

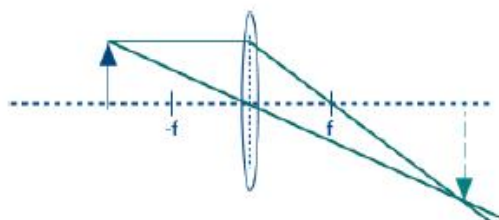
Após a realização desta atividade, os estudantes devem ser capazes de resumir as propriedades de cada tipo de lente numa tabela, como por exemplo a abaixo indicada. Assim, devem ser capazes de concluir se a imagem é direita ou invertida, maior ou menor que o objeto, etc.

| Tipo de Lente | Distância focal | Distância da lente ao objeto | Distância do objeto à imagem | Orientação da imagem | Tamanho da imagem |
|---------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Biconvexa | +30 mm | | | | |
| Biconvexa | +150 mm | | | | |
| Bicôncava | -30 mm | | | | |

Os alunos também devem identificar experimentalmente o *foco* e a *distância focal* de uma lente, para entenderem o que acontece com as imagens quando o objeto é colocado longe da lente ou no foco da lente. Depois de realizar a primeira parte desta atividade, é desejável colocar aos alunos as seguintes questões: 1) o que acontece quando o objeto está próximo da lente côncava?; e 2) como é que a imagem se torna direita quando aproximam o objeto da lente convexa? Deixe estas questões como temas de discussão e diga-lhes que ao realizar a próxima atividade irão encontrar as respostas para estas perguntas.

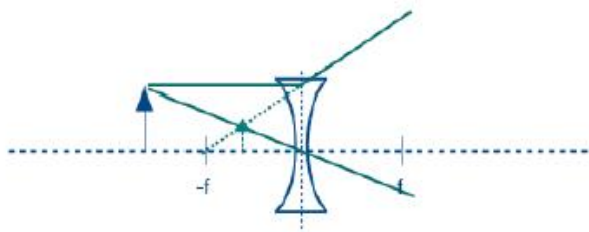
Imagens reais e imagens virtuais

No ponto 2 da ficha de trabalho “O caminho da Luz”, os alunos vão trabalhar com as lentes biconcava e biconvexa, para observar uma imagem nítida na tela (alvo) com a lente biconvexa, mas não com a lente biconcava. No ponto 3 são-lhes explicados os conceitos de *imagem real* e de *imagem virtual*. Para melhorar a compreensão destes conceitos pode usar diagramas simples de construção de imagens. Em baixo apresentam-se dois exemplos:



Com a lente biconvexa forma-se uma imagem invertida, maior e real quando o objeto é colocado a uma distância superior à distância focal da lente. Este tipo de imagem pode ser vista numa tela (*imagem real*).

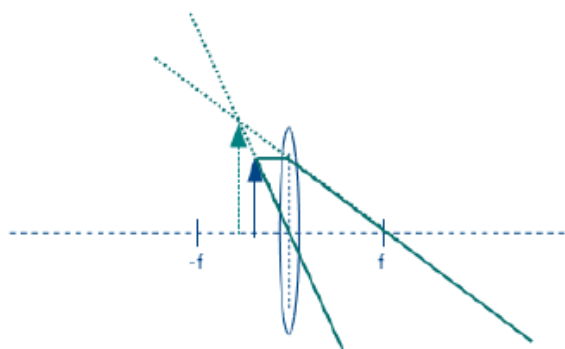
Com a lente biconcava obtém-se uma imagem direita, mais pequena e virtual quando o objeto é colocado a uma distância superior à distância focal da lente. Esta imagem não pode ser vista numa tela (*imagem virtual*), porque o prolongamento dos raios de luz emergentes converge num ponto que se situa atrás da lente (foco virtual), que é o ponto de onde eles parecem vir.



Havendo disponibilidade de tempo, pode fazer-se uma experiência simples com a turma para ilustrar que a imagem virtual se posiciona entre o foco (virtual) e a lente. Para tal, pegue na lente de distância focal -30 mm e coloque-a sobre uma mesa. Segure um pequeno objeto a uma distância > 30 mm atrás da lente e peça a um aluno para olhar para o objeto através da lente, com os dois olhos abertos. Depois, peça-lhe para alinhar um dedo por cima do objeto enquanto ainda olha para o objeto através da lente. É importante que o aluno não veja o seu dedo através da lente. O dedo deve estar um pouco acima da lente. Agora, peça-lhe para manter o dedo firme e observar a posição deste e do objeto, atrás da lente. Se feito corretamente, o dedo do aluno vai aparentar estar entre a lente e o objeto. Esta é a posição da imagem virtual.



No ponto 4, os alunos trabalham com lentes biconvexas e descobrem que, quando o objeto é colocado entre o foco e a lente (<30 mm de distância da lente), nenhuma imagem nítida é observada na tela. Nesta situação a imagem formada é virtual, pois os raios divergem como mostra o diagrama de construção de imagens representado em baixo.



Telescópios de Galileu e de Kepler

Existem várias maneiras de guiar os alunos através desta parte da ficha de trabalho. Duas possibilidades são:

1) As vidas de Galileu e de Kepler estão cheias de factos curiosos, por isso pode ser motivador adicionar algum contexto histórico à aula. Os alunos poderão aprender por que é que os problemas que se lhes colocavam necessitavam de ser resolvidos e o que significou resolver esses problemas naquele período da história. *Havendo tempo*, pode dividir a turma em grupos de Galileu e grupos de Kepler, e propor que cada grupo trabalhe apenas num tipo de telescópio. Uma vez "construídos" os respetivos telescópios, os alunos deverão mostrar como ele funciona aos outros grupos, comparando e contrastando os dois tipos de telescópios. Deve ser criado um espaço de debate onde se analisem as situações em que cada um dos telescópios deve ser utilizado.

2) Divida a turma em grupos de 2 a 3 alunos e deixe-os trabalhar em grupo os pontos 5 a 7 da ficha de trabalho WS 3.1, para construir os dois tipos de configurações de telescópio. Tenha uma discussão aberta, destacando no quadro as funcionalidades de cada tipo de telescópio.

NOTA: note que, para esta parte da ficha, os alunos precisam de focar um objeto distante (pelo menos 5 a 6 metros). Idealmente, deveriam olhar para fora da janela, ou para um prédio distante. No entanto, se isso não for possível, coloque um cartaz na parede mais distante na sala de aula. Certifique-se que o cartaz tem palavras ou letras escritas, de modo a que os alunos possam facilmente identificar a orientação vertical.

No ponto 5, os alunos discutem se podem ou não fazer um telescópio com apenas uma lente. Isso pode levá-los a questionar se uma lupa é, essencialmente, um telescópio, porque faz os objetos parecerem maiores. Uma lupa é uma lente biconvexa que amplia objetos que estão a uma distância de cerca de uma distância focal dela. Um telescópio, por outro lado, utiliza pelo menos duas lentes para ampliar objetos muito distantes. Por isso, no mínimo são necessárias duas lentes para construir um telescópio.

No ponto 6, os alunos constroem um telescópio de Galileu. Eles devem observar que esta combinação de lentes proporciona um campo de visão pequeno (podem observar uma área reduzida) e a imagem é direita. Para uma configuração de Galileu, a distância entre as lentes deve ser a soma das distâncias focais das lentes, aproximadamente 120 milímetros.

No ponto 7, os alunos constroem um telescópio de Kepler. Este proporciona um campo de visão maior, mas a imagem é invertida. A distância entre as lentes necessária para ver uma imagem clara é também a soma das distâncias focais das lentes, aproximadamente 180 milímetros.

No ponto 8, os alunos calculam a ampliação dos seus telescópios usando a fórmula fornecida. Eles devem chegar à conclusão que ambos os telescópios têm a mesma ampliação, mas a do telescópio de Kepler tem sinal negativo. O sinal negativo indica a orientação da imagem. Isto significa que na configuração do telescópio de Kepler a orientação da imagem é invertida.

Informação prévia

Alguma história interessante: Galileu e Kepler

O nome completo de Galileu era Galileo di Vincenzo Bonaiuti de' Galilei. Nasceu em Pisa, em 1564, e foi um notável físico, matemático, astrónomo e filósofo de renome, tendo desempenhado um papel fundamental na "Revolução Científica". Em 1589, foi nomeado para a cadeira de matemática em Pisa. Em 1592, mudou-se para a Universidade de Pádua e ensinou geometria, mecânica e astronomia até 1610. Durante este período, Galileu fez descobertas significativas, tanto na ciência fundamental pura (por exemplo, na cinemática e na astronomia), bem como na ciência aplicada (por exemplo, a resistência dos materiais e a melhoria do telescópio). Os seus interesses múltiplos incluíam o estudo da astrologia, que na época estava inserida nos estudos da matemática e da astronomia. Galileu é talvez mais conhecido pelo seu apoio à visão heliocêntrica, que colocou o Sol, e não a Terra, no centro do universo.

Em 1609, Galileu melhorou significativamente a primeira versão do telescópio desenvolvido por Hans Lippershey, no ano anterior. Galileu construiu telescópios com poderes de ampliação de 3 a 30 vezes. Durante um certo tempo, ele foi o único capaz de fazer telescópios potentes o suficiente para olhar para objetos celestes no céu noturno. Em 1610, Galileu observou três das luas que orbitam Júpiter, o que criou uma revolução na astronomia. Esta observação contradizia a teoria de que todos os objetos celestes orbitavam a Terra. Galileu continuou a observar os satélites ao longo dos 18 meses seguintes e em meados de 1611, havia já obtido estimativas notavelmente precisas para os seus períodos - feito que Kepler acreditava ser impossível.

Entre várias outras observações, Galileu também foi o primeiro a observar as fases de Vénus, que juntamente com as observações das órbitas das luas, contribuíram significativamente para a mudança do geocentrismo (que colocava a Terra no centro do universo) para o heliocentrismo.

Johannes Kepler, nascido em 1571, foi um matemático alemão, astrónomo e astrólogo. Tendo sido uma figura chave na revolução científica do século XVII, Kepler é mais conhecido pelas suas leis do movimento planetário. Kepler viveu numa época em que não havia distinção clara entre astronomia e astrologia, mas existia uma forte divisão entre astronomia e física. Kepler também incorporou raciocínio e argumentos religiosos no seu trabalho. Ele nutria um grande amor pela astronomia e quando era criança e tinha seis anos de idade, observou o grande cometa de 1577; aos nove anos, Kepler observou um eclipse lunar.

Em 1601, Kepler começou a trabalhar para Tycho Brahe. Com a morte de Brahe, foi nomeado seu sucessor no cargo de matemático imperial, posição que ocupou durante onze anos. Kepler trabalhou intensamente para desenvolver algumas das primeiras teorias sobre a causa dos eclipses, a lei do inverso do quadrado que regula a intensidade da luz, reflexão em espelhos planos e curvos e princípios de funcionamento de câmaras *pinhole*.

Ele estudou sistematicamente a supernova de 1604, e, continuando o trabalho de Brahe, desenvolveu as três leis do movimento que conhecemos hoje::

- A órbita de cada planeta é uma elipse e o Sol situa-se num dos focos.
- O raio-vetor que une um planeta e o Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.
- O quadrado do período orbital de um planeta é diretamente proporcional ao cubo do semieixo maior da sua órbita.

Após saber das observações de Galileu, Kepler iniciou trabalhos com telescópios e descobriu que o uso de duas lentes convexas poderia dar uma ampliação maior que a do telescópio de Galileu.

Telescópios refletores

Um telescópio de reflexão (também chamado refletor) é um telescópio ótico que utiliza um único espelho ou uma combinação de espelhos curvos que refletem a luz e formam uma imagem. O telescópio refletor foi inventado no século XVII como alternativa ao telescópio refrator que, naquela época, era um projeto que sofria de aberração cromática grave. Embora os telescópios refletores produzam outros tipos de aberrações óticas, eles podem ser concebidos com objetivas muito grandes. Uma objetiva grande num telescópio de refração implica o polimento da lente com precisão, enquanto num telescópio refletor envolve simplesmente o processo de polimento de um espelho. Quase todos os grandes telescópios utilizados na investigação em astronomia são refletores. Isaac Newton é geralmente conhecido como o construtor do primeiro telescópio refletor em 1668. Neste tipo de telescópios é utilizado um espelho esférico primário de metal e um pequeno espelho diagonal, numa configuração ótica que veio a ser conhecida como telescópio newtoniano.

Como o espelho primário foca a luz num ponto comum à frente da sua própria superfície refletora, quase todos os projetos de telescópios refletores têm um espelho secundário, suporte de filme ou detector perto do foco. Isto impede parcialmente a luz de atingir o espelho primário. Este sistema não só causa alguma redução na quantidade de luz que o sistema recolhe, como também provoca uma perda de contraste na imagem devido a efeitos de difração.

O uso de espelhos evita a aberração cromática, mas produz outros tipos de aberrações. Um espelho esférico simples não pode concentrar a luz de um objeto distante num foco comum, porque os raios de luz refletidos de zonas perto dos bordos do espelho não convergem no mesmo ponto que aqueles refletidos vindos de posições mais próximas do centro do espelho. Este defeito é chamado de *aberração esférica*. Para evitar esse problema a maioria dos telescópios refletores usam espelhos de forma parabólica, uma forma que permite concentrar toda a luz num foco comum. Espelhos parabólicos funcionam bem para objetos próximos do centro da imagem que produzem, onde os raios são paralelos ao eixo ótico. No entanto, na periferia do campo de visão, ocorrem aberrações fora do eixo.

Possíveis perguntas dos alunos

Quantas lentes utilizam os telescópios e porquê?

Na realidade, nenhuma lente é perfeita. Num sistema de telescópios de duas lentes existem vários problemas com a imagem. Por exemplo, a imagem é curvada e sofre aberração cromática porque as lentes de refração curvam a luz de maneira diferente consoante o comprimento de onda (ou a frequência) da radiação, e o telescópio só pode ser focado no centro da ocular (quanto maior for a frequência, maior é o desvio que uma determinada cor da luz irá sofrer. Por esta razão, os objetos que difundem luz de diferentes cores do espectro eletromagnético não são observados no mesmo ponto de foco).

Muitos destes problemas foram resolvidos melhorando a ocular e incluindo várias lentes na mesma. Atualmente, os telescópios permitem fazer ajustes ao brilho da imagem, à cor, à qualidade da imagem e ao contraste, e permitem ainda uma maior portabilidade do dispositivo.

8.1.2.4 Olho e visão

Notas para o professor

sobre o módulo 4

Olho e Visão

Muitos dizem que os olhos são a janela da alma. De facto, há muito que o Homem tem tentado abrir uma janela para ver o funcionamento do olho! É fascinante como o olho humano pode ajudar-nos a ver coisas de diferentes formas, tamanhos e cores, próximas e distantes, simplesmente ajustando-se numa fração de segundo!

Neste módulo, os alunos irão comparar os componentes de uma máquina fotográfica com os constituintes do olho humano e aprender a função de cada um. Irão também aprender em que consiste o efeito da "acomodação" - a propriedade especial do olho que o ajuda a focar objetos em planos diferentes, alterando a forma do cristalino (a lente do olho).

Resumo: Os alunos irão comparar os componentes de uma máquina fotográfica com os do olho. Usarão também duas lentes para compreender o mecanismo de focagem do olho.

O módulo contém dois capítulos:

- Dentro do Olho.
- Distâncias Focais.

Dirigido a: alunos do ensino básico (de 12 a 14 anos)

Duração: cada Capítulo deverá ter uma duração média de 50 minutos.

Conhecimentos prévios dos alunos:

- A forma como as lentes alteram a trajetória da luz.
- A equação das lentes finas.
- Os tipos básicos de lentes.

Conhecimentos que os alunos vão adquirir:

- Medição de distâncias focais.
- Componentes de uma câmara.
- Constituintes do olho humano.
- Funções de cada componente da máquina fotográfica e do olho.
- Aplicação da equação das lentes finas para calcular distâncias focais máximas e mínimas.
- Interpretação do conceito de acomodação do olho e seu modo de funcionamento.

Competências a desenvolver pelos alunos:

- Trabalhar em grupo.
- Relacionar conceitos concretos (componentes da máquina fotográfica) com conceitos abstratos (componentes do olho).
- Realizar um trabalho experimental, com lentes, seguindo um protocolo.
- Trabalhar com lentes e diagramas de raios.

Este módulo inclui:

- 2 fichas de trabalho.
- 1 ficha de informação.

Capítulo 1 | Dentro do Olho

Resumo da aula proposta

Os alunos irão comparar os diferentes constituintes de uma máquina fotográfica com os do olho humano e aprender qual a função de cada um deles.

| Tempo (min) | Atividade | Material |
|-------------|---|---|
| 0-10 | Motivação para o tema - discussão em grande grupo sobre "O que significa ver" | |
| 10-35 | Trabalho de grupo: Resolver o "puzzle" e identificar os diferentes constituintes de uma máquina fotográfica e os do olho, bem como a função de cada um deles. | WS04.1 <i>Não incluído no kit:</i> Modelo do olho humano Máquina fotográfica |
| 35-50 | Discussão dos resultados, em grande grupo em torno dos pontos 1. e 2. da página 3. Sistematização dos conceitos abordados. | <i>Não incluído no kit:</i> Lentes para correção de doenças oftálmicas (opção) |
| TPC | Nenhum | |

Descrição da aula

Questione os alunos acerca do que significa "ver" um objeto. A maioria provavelmente já sabe que a luz proveniente de um corpo entra no olho e isso que nos permite vê-lo. Leve-os a compreender que isso por si só não é suficiente para que sejamos capazes de ver. Por exemplo, não conseguimos ver uma cadeira no escuro e não conseguimos ver com definição o Sol ao olhar diretamente para ele. Em ambos os casos, a quantidade de luz é um problema. A luz que incide nos olhos tem que ter a intensidade adequada para que sejamos capazes de ver.

Tal como uma máquina fotográfica, os nossos olhos estão "projetados" para se ajustarem à luz disponível, regulando a "quantidade" de luz que entra no olho e tornando-nos, assim, capazes de ver.

Ficha de trabalho "Dentro do Olho"

Divida a turma em grupos de 2-3 alunos por grupo. Distribua a ficha WS 4.1. e proponha a leitura da introdução. Pretende-se que os alunos trabalhem em grupo no quebra-cabeças proposto. A maioria já deverá estar familiarizada com alguns dos componentes de uma máquina fotográfica, bem como com alguns dos constituintes do olho. Lembre-os que devem partilhar essas informações dentro de seu grupo (por exemplo, o obturador da máquina abre e fecha, por isso, permite que a luz passe ou bloqueia-a). Peça aos alunos para analisarem se cada componente é fixo ou móvel (será mais fácil para a máquina que para o olho, pelo que pode ser necessário fornecer-lhes ajuda para entenderem esta funcionalidade do olho).

Em particular, os alunos devem refletir sobre o trajeto da luz através dos constituintes do olho e da máquina, e o que lhe vai acontecendo à medida que isso acontece. (A solução do quebra-cabeças com os componentes na ordem correta e a sua respetiva função, é fornecida na página 6. Nota: esta solução não aparece em qualquer página do documento. Iremos colocá-la no final deste subcapítulo)

Circule pelos grupos e auxilie os alunos, conforme necessário, de modo a que cada grupo encontre soluções para o problema em análise.

Solução do quebra-cabeças:

| Câmara fotográfica ¹ | Olho |
|---------------------------------|-------------|
| Diafragma | Íris |
| Lente | Cristalino |
| Sensor | Retina |
| Cabo de ligação | Nervo ótico |

Discussão dos resultados

Depois de todos os grupos terem colocado por ordem os diferentes componentes, solicite aos alunos que cole as peças por essa ordem nos seus cadernos, deixando algum espaço para a legenda de cada componente. Em seguida, peça-lhes para discutirem entre si a função de cada componente. Circule pelos grupos até que tenham todas as respostas. Se houver qualquer discrepância entre os grupos, peça a fundamentação das respostas e oriente-os para a solução correta.

Questione os alunos relativamente aos seguintes pontos:

1. O olho é um "instrumento ótico", que recolhe a luz de um objeto para o qual olhamos e deteta a imagem, ajudando-nos assim a ver.
2. A máquina fotográfica e o olho humano são muito semelhantes em vários aspetos.

Máquina fotográfica vs. Olho: diferenças

Peça aos alunos para listar e identificar algumas diferenças entre a máquina fotográfica e o olho e registe-as no quadro. Alguns podem afirmar que a lente é diferente, pois a máquina fotográfica está ligada a um computador, enquanto o olho envia mensagens ao cérebro, etc. De seguida, peça-lhes para trabalhar em grupo sobre a segunda parte da questão 2 da ficha WS4.1. Oriente-os na compreensão de que a lente da máquina fotográfica pode mover-se para trás e para a frente, mas a lente no olho está fixa numa posição!

Se o cristalino e a retina estão fixos numa posição, então como é que o olho vê claramente diferentes objetos a distâncias variadas e de diferentes formas e tamanhos?

Deixe essa questão em aberto para a próxima ficha de trabalho e diga aos alunos que na próxima aula irão ver como se processa a focagem dos objetos pelo olho.

Para a questão 3, os alunos devem compreender a ideia de que o olho é o "instrumento" para a recolha da luz e envio das informações, mas é de facto o cérebro quem processa a informação numa imagem significativa e cria o nosso sentido da visão. É como um computador (ou seja, um processador dentro da máquina fotográfica, ou um dispositivo ligado externamente) que processa as informações para recriar uma fotografia.

Informação prévia

Recetores no olho

Existem duas classes de recetores na retina do olho humano:

- Os *bastonetes* - são usados para ver à noite ou em condições de muito baixa iluminação. Há cerca de 120 milhões de recetores em forma de bastonete no olho, muito sensíveis à luz, mas não às cores.
- Os *cones* - são sensíveis à cor. Há cerca de 6-7 milhões de cones.

Os cones estão ainda divididos em três categorias, com base na sua sensibilidade ao comprimento de onda da luz:

¹ Nota: Embora não existam imagens do olho correspondentes ao corpo da câmara e à cobertura da lente,

- *Recetores L*: mais sensíveis à luz de maior comprimento de onda (luz que aparece como vermelho ou variações de vermelho).
- *Recetores M*: mais sensíveis a comprimentos de onda “médios” (luz que aparece como verde ou variações de verde).
- *Recetores S*: mais sensíveis a pequenos comprimentos de ondas curtas (luz que aparece como azul).

As pessoas com visão normal das cores têm recetores dos tipos S, M e L. As pessoas com problemas na percepção das cores (por exemplo, os daltónicos) têm falta de um ou mais desses recetores.

Estes recetores existentes na retina do olho são neurónios sensíveis à luz e desencadeiam um impulso elétrico quando a luz os atinge. A formação da imagem sobre a retina é devida ao “disparo” espacial sistemático destes recetores.

A retina comparada com um sensor CCD

A forma como a retina recebe imagens e transmite a informação para o cérebro é muito semelhante à forma como um sensor CCD (do inglês *charge coupled device*) funciona num dispositivo como por exemplo uma câmara de vídeo.

Num sensor CCD, os píxeis são sensíveis à luz. Cada píxel é, essencialmente, um condensador e quando a luz incide sobre ele, o condensador desenvolve uma carga que é proporcional à intensidade da luz. Esta carga está “acoplada” (daí o nome CCD) a um circuito externo (circuito eletrónico analógico) através de outros condensadores, e este circuito externo emite uma sequência de tensões de saída proporcionais à carga gerada. Um microprocessador converte esta sequência de tensões na intensidade da luz de entrada.

As câmaras digitais geralmente usam uma “máscara Bayer” sobre o CCD. Cada quadrado de quatro píxeis tem um filtro vermelho, um azul, e dois verdes. Em resultado disto, a informação de luminância é recolhida em cada píxel, mas a resolução de cor é menor que a resolução de luminância.

A retina funciona de uma forma muito semelhante (porém, o olho humano é mais sensível ao verde que ao vermelho ou ao azul). Quando a luz é focada sobre os recetores na retina, eles ficam hiperpolarizados, ou seja, o seu potencial (voltagem) aumenta. O potencial de repouso de um neurónio é normalmente cerca de -70 mV e isto pode aumentar para um máximo de -55 mV. O recetor hiperpolarizado (bastonete ou cone, dependendo da luz) excita uma célula bipolar que está debaixo dela e esta, por sua vez, estimula a célula ganglionar. Esta célula transmite o impulso elétrico para o cérebro através do nervo ótico. (NOTA: esta é uma versão simplificada do mecanismo real, que envolve várias camadas de neurónios).

O “processamento da imagem” ocorre efetivamente no cérebro, mais especificamente no córtex visual, localizado na parte posterior do cérebro (no “occipital”). A imagem vista pelo olho direito é processada no lado esquerdo do cérebro e vice-versa. Embora a imagem real na retina seja invertida, a imagem que “vemos” encontra-se de facto na posição vertical.

Visão estereoscópica

Os seres humanos têm, como várias outras espécies, uma “visão estereoscópica”, o que significa que eles veem a mesma imagem de um objeto com os dois olhos. Ambos estão no mesmo plano, na parte da frente do crânio. Isso não sucede nos peixes que, por possuírem um olho de cada lado da cabeça, veem uma imagem diferente em cada olho.

Um dos resultados da visão estereoscópica é a percepção da profundidade. Uma maneira simples de testar este aspeto é manter um dedo na frente do rosto e concentrar-se em algo por detrás do dedo. Posteriormente, fechar-se alternadamente cada olho com rapidez, ainda com foco no objeto. Tem-se então a percepção de que a posição do dedo se move, enquanto a posição do objeto permanece a mesma. Quando uma pessoa olha para um objeto, os dois olhos convergem de modo a que o objeto apareça no centro da retina em ambos os olhos. Outros objetos à volta do objeto principal (o dedo) parecem “deslocados”.

O cristalino e suas propriedades



A lente nos nossos olhos é também conhecida como o *aquilo* (do Latim, um pequeno riacho, dim. de *aqua*, *água*), ou cristalino. Nos seres humanos, o poder da refração desta lente no seu ambiente natural é de cerca de 18 dioptrias, aproximadamente um terço da potência total do olho. O índice de refração do cristalino humano varia entre cerca de 1,38-1,40. A propriedade especial desta lente é que ela pode mudar a sua forma e, como tal, a sua distância focal, o que nos permite focar objetos diferentes. A *acomodação* age como por reflexo, mas também pode ser controlada conscientemente. Os seres humanos e outros mamíferos, bem como aves e répteis, alteram a potência ótica modificando a forma do cristalino usando os *músculos ciliares*. Esta alteração pode atingir 15 dioptrias nos seres humanos. Peixes e anfíbios variam a potência ótica através de músculos para alterar a distância entre uma lente rígida e a retina.

O olho humano jovem pode mudar o foco de um objeto longínquo para outro a sete centímetros do olho, em 350 milissegundos. Esta mudança dramática na potência focal do olho em cerca de 12 dioptrias (uma dioptria é o inverso da distância focal medida em metros) é conseguida pela contração do músculo ciliar. A capacidade de mudar rapidamente o foco diminui com a idade.

O que os alunos poderão perguntar

Como funciona uma máquina fotográfica digital?

As máquinas convencionais usam um filme fotossensível para capturar imagens. Os filmes fotográficos tipicamente consistem em haletos de prata extremamente sensíveis à luz. As máquinas fotográficas digitais capturam imagens utilizando um conjunto de sensores sensíveis à luz. Estes sensores são sensíveis à intensidade da luz de entrada e armazenam a informação digitalmente, como informação vermelha, verde e azul, ou como dados em bruto. Existem dois tipos principais de sensores: dispositivo de carga acoplada (CCD) ou semicondutor de metal-óxido complementar (CMOS). Enquanto as máquinas convencionais funcionam sem energia elétrica, as máquinas digitais requerem uma ligação com um computador para armazenar e processar as imagens.

Capítulo 2 | Distâncias Focais

Resumo da aula proposta

Os alunos aprendem como o olho foca a luz e o princípio da "acomodação".

| Tempo (min) | Atividade | Material |
|-------------|---|--|
| 0-10 | Continuação da discussão da aula anterior | |
| 10-20 | Atividade experimental: distância focal do olho | WS04.2 |
| 20-35 | Discussão dos resultados na turma | <i>Não incluído no kit:</i> Lentes para correção de doenças oftálmicas (opcional) OU Exploração de simulações |
| 35-50 | Trabalho de grupo: atividade experimental sobre distâncias focais | Lentes (distâncias focais de 30 mm e 150 mm), módulo LED <i>Não incluído no kit:</i> Ecrã, régua |

Descrição da aula proposta



Apresente aos alunos os objetivos da aula:

- Comparar a focagem da luz por um olho e por uma câmara;
- Medir a distância focal dos olhos.

Distância focal do olho:

Organize grupos de trabalho de 2 a 3 alunos. Peça para lerem a questão 1 da ficha de trabalho WS4.2. Quando necessitarem de medir a distância entre o dedo e os olhos, devem pedir a colaboração de um membro do grupo. Na questão 1.2 ("Será esta distância a mesma para toda a turma?"), anote os resultados de cada grupo no quadro e diga para os compararem. Caso algum grupo tenha um resultado muito diferente, peça para descreverem o método experimental usado e para tentarem descobrir por que razão obtiveram respostas diferentes.

A ficha de trabalho já fornece a equação das lentes finas, numa forma que os alunos podem usar para preencher as distâncias e calcular a distância focal do seu olho.

Após terem concluído esta parte, leia as questões 2 e 3 da ficha de trabalho. Certifique-se que os alunos fixam a tela atrás da lente, de modo a que a distância entre elas seja maior do que a distância focal da lente (150 mm) e que a tela não se mova. Após a medição da primeira distância, certifique-se que substituem a lente por outra de distância focal 30 mm, e que a distância entre a tela e a lente permanece a mesma.

Discussão dos resultados:

Discuta a questão 4 com os alunos, questionando-os se os resultados previstos estão de acordo com os obtidos. Esta experiência permitirá discutir as propriedades das lentes relacionadas com a focagem de objetos próximos e distantes. Muito provavelmente eles vão dizer que a lente de maior distância focal foca melhor objetos distantes, e vice-versa.

Sugira aos alunos que observem as lentes com atenção, indicando qual a forma de cada lente. Poderão observar que a lente de 30 milímetros é arredondada e que a outra é mais plana. Em seguida, pergunte-lhes se há outra maneira de focar um objeto sem mudar a lente - leve-os a concluir que nesse caso, a distância entre a lente e a tela teria que ser alterada. No caso do olho, apenas o formato da lente pode mudar e é isso exatamente o que acontece.

Na questão 5, os alunos têm que usar a equação das lentes finas e compreender que a distância focal e a distância da córnea à retina são fixas e fornecidas nas questões 3 e 4 da ficha de trabalho.

Para sistematizar a abordagem dos defeitos da visão e respetiva correção, poderá fazer uso das seguintes simulações:

http://web.fc.up.pt/physletspt/ebook/animacoes/Otica/aplicacoes/illustration36_1_pt.html

<http://www.freezeray.com/flashFiles/eyeDefects.htm>

As questões 6 e 7 são opcionais, dependendo se os alunos já conhecem os diagramas de raios. Caso opte pela resolução destas questões, os alunos têm que desenhar um objeto e um alvo (que representa a retina) e decidir inicialmente onde a imagem é formada para cada tipo de defeito (na frente do alvo ou atrás do alvo). De seguida, dependendo se a imagem necessita de ser trazida para a frente ou movida para trás para se formar sobre o alvo, deixe-os decidir qual o tipo de lentes mais adequado.

Informação prévia

Lentes líquidas

Como a acomodação é um processo muito útil, ela pode melhorar significativamente a compactação e resolução dos dispositivos, como acontece com as máquinas fotográficas. No passado, os instrumentos óticos



complexos utilizavam sempre uma combinação de lentes com distâncias focais fixas. Pesquisas extensas resultaram na criação de "lentes líquidas" que podem alterar a sua forma e distância focal de acordo com o pretendido. Tal lente pode-se adaptar rapidamente e continuamente de um caráter divergente para convergente (e vice-versa) e ser modelada para recriar todas as funções óticas fundamentais, nomeadamente o Autofoco e a estabilização da imagem ótica. A tecnologia utiliza a técnica de "*Electrowetting*" que consiste numa combinação de líquidos transparentes e óticamente livres de defeitos, para criar uma lente e alterar as suas características em tempo real. "*Wetting*" (molhagem) é a capacidade de um líquido permanecer em contacto com uma superfície sólida e resulta da combinação de várias forças. Assim, a *Electrowetting* permite a modificação das propriedades de molhagem de um líquido por aplicação de um campo elétrico.

As principais vantagens da utilização de lentes líquidas relativamente às lentes de vidro ou de plástico, é que estes permitirem uma ampla gama de distâncias focais. Além disso, são robustas e mais resistente ao choque que as lentes convencionais e podem mudar o seu foco rapidamente (na escala de tempo dos milissegundos). A flexibilidade das lentes líquidas permite a possibilidade de ter várias lentes dentro de uma única embalagem, pois estas lentes são muito menores em tamanho do que as lentes das câmaras atuais.

A tecnologia da lente líquida já está a ser introduzida nos *smartphones*, máquinas fotográficas e outros dispositivos de imagem. Todavia, há ainda uma enorme variedade de aplicações para ser explorada!

O que os alunos poderão perguntar:


Como funcionam as lentes de contacto?

As lentes de contacto são normalmente colocadas sobre a córnea do olho, para ajudar a corrigir os defeitos de visão. Como alternativa aos óculos, as primeiras lentes eram feitas de vidro. Isso causava irritação dos olhos, o que tornava essas lentes inadequadas para uso durante longos intervalos de tempo. As lentes de vidro foram então substituídas por polimetil-metacrilato (PMMA), que mostravam ser muito mais cómodas, mas que não permitiam a passagem de oxigénio para a córnea através das lentes. A investigação posterior levou ao fabrico de materiais rígidos permeáveis ao oxigénio para fazer lentes de contato. Todas estas lentes eram apelidadas de lentes "rígidas".

O grande avanço em lentes de contato gelatinosas surgiu com o lançamento das primeiras lentes "macias", ou *lentes soft* (hidrogel) em alguns países na década de 60, e da aprovação do material "*Soflens*" (polymacon) pela FDA dos Estados Unidos, em 1971. As lentes macias são confortáveis no imediato, enquanto as lentes rígidas requerem um período de adaptação antes do conforto total ser alcançado. Os polímeros a partir dos quais as lentes macias são fabricadas foram sendo melhorados ao longo dos 25 anos seguintes, principalmente em termos do aumento da permeabilidade ao oxigénio, variando os elementos que compõem os polímeros.

8.1.3 Ficha de trabalho (atividades)

8.1.3.1 Sinais luminosos



O meu nome: _____

Falar num vale

Falar num Vale

Consegues imaginar a vida sem telemóveis e sem internet – ou seja, sem outros meios de telecomunicação além da escrita de cartas? É habitual considerarmos a telecomunicação como um dado adquirido; mas ela simplesmente só existe porque alguém desenvolveu as tecnologias que usamos.

Os habitantes do Vale pedem a tua ajuda, porque eles também gostariam de ficar em contacto uns com os outros. Tens uma ideia inovadora de como eles poderiam comunicar sem eletricidade?

Aos habitantes do Vale

O Conselho de Anciãos decidiu que o Vale precisa de um sistema rápido e fiável para enviar mensagens urgentes entre as aldeias.


O nosso vale é conhecido em todo o país pela sua beleza e ingenuidade do seu povo. Por isso, convidamos todos os bons espíritos do vale a participar num concurso para as ideias mais inteligentes: quem apresentar o melhor projeto de como criar um sistema de comunicação para o Vale, receberá a honra de ver o(s) seu(s) nome(s) esculpido(s) na empena da casa d'O Conselho de Anciãos.

De acordo com as tradições sábias do Vale, este sistema de comunicação não pode usar qualquer tipo de eletricidade, proveniente de geradores ou baterias, ou qualquer coisa desse tipo. Além disso, o Conselho de Anciãos decidiu que todas as soluções propostas serão avaliadas tendo em conta os seguintes critérios:

1. O sistema deve permitir que mensagens curtas entre as aldeias com um máximo de 50 palavras, possam ser enviadas o mais rapidamente possível.
2. Ninguém deve ser incomodado pelo sistema de comunicação, como por exemplo através de barulhos ruidosos. O sistema não deve ter um impacto negativo sobre o meio ambiente ou na beleza do Vale.
3. O povo do vale não gosta de ver cabos ou tubagens, ou qualquer coisa desse tipo instalado entre as aldeias.
4. Uma ideia inteligente não pode ser dispendiosa. A instalação do sistema não pode ficar muito cara. No entanto é mais importante ainda, o sistema deve ter baixos custos de funcionamento, manutenção e reparação.

O melhor sistema será escolhido na próxima reunião de O Conselho de Anciãos.

Photonics Explorer | WS01.Valeley Talk



1/2

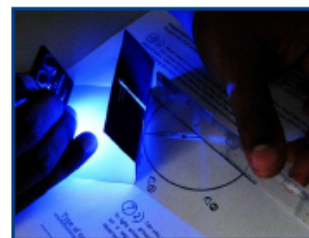


Um dos artistas a viver no Vale fez o desenho abaixo representado. Para um pássaro, as aldeias estão apenas separadas de 2 km de distância, mas as pessoas têm que passar pelo fundo do vale e necessitam de cerca de metade de um dia para viajar de uma aldeia à outra.



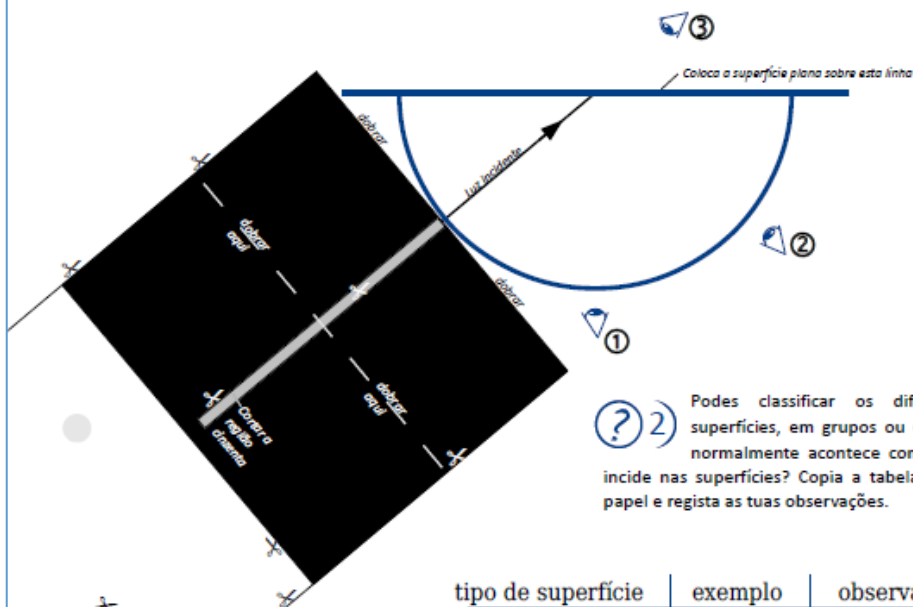
A luz incide na matéria

Há um problema com o envio de sinais de luz a alguma distância: se houver um obstáculo no caminho, a luz pode não chegar ao seu destino! Se estudarmos o comportamento da luz quando incide sobre diferentes obstáculos podemos resolver este problema!



Preparação: Corta o retângulo abaixo desenhado ao longo dos lados marcados. É mais fácil cortar a área cinzenta se fizeres pregas ao longo da linha pontilhada. Em seguida, dobra ao longo do lado do retângulo que toca no meio círculo e endireita a máscara da fenda para que fique na vertical, como na foto acima.

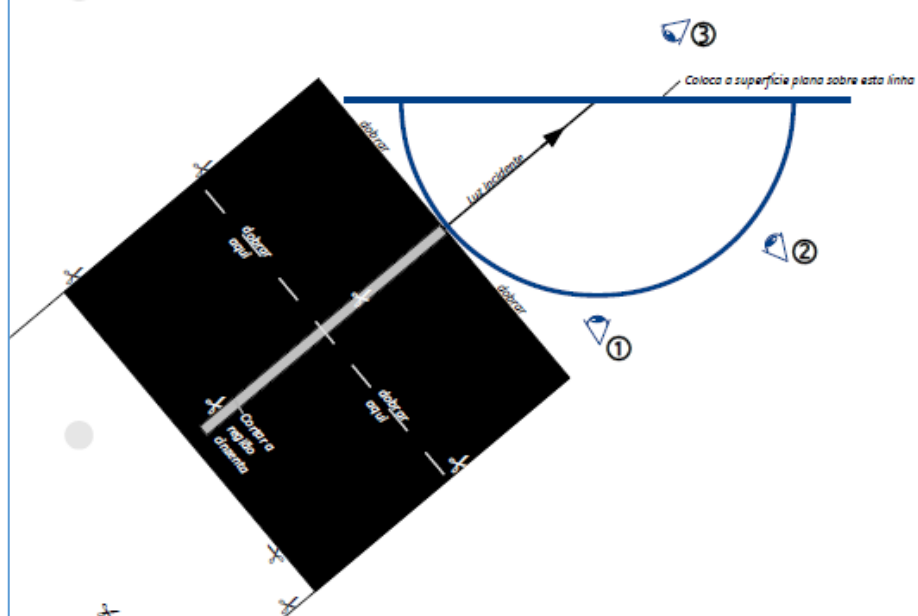
- 1 Seleciona alguns objetos diferentes que possuam superfícies mais ou menos planas, embora diferentes. Coloca-os sobre a linha horizontal, por cima do meio círculo e usa o módulo de LED para fazer incidir luz sobre eles, através da fenda. Numa folha à parte, faz uma lista dos objetos, descreve sucintamente a respetiva superfície e regista o que vês a partir das três posições de observação (indicadas na figura por um olho e um número).



- 2 Podes classificar os diferentes tipos de superfícies, em grupos ou categorias? O que normalmente acontece com a luz quando ela incide nas superfícies? Copia a tabela a seguir para um papel e regista as tuas observações.

| tipo de superfície | exemplo | observação |
|--------------------|---------|------------|
| | | |
| | | |

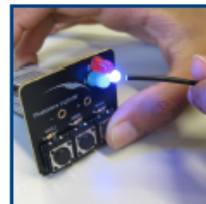
- 3 Pensa numa maneira de usar os conhecimentos que adquiriste, para enviar sinais de luz quando existem obstáculos. Por exemplo, imagina que havia uma grande rocha entre duas das aldeias do Vale. Que tipo de superfície irias necessitar? Como farias para enviar os sinais de luz de uma aldeia para a outra, contornando a rocha?



Comunicar com Luz

Já tentaste falar com alguém que não conhece a tua língua? A outra pessoa pode fazer sons que são muito semelhantes aos teus, mas eles têm um - para ti ainda desconhecido - significado diferente. Como seres humanos, normalmente encontramos uma maneira de descobrir o que a outra pessoa quer dizer. No entanto, as soluções técnicas como a internet não são seres inteligentes, mas apenas máquinas que "falam" entre si, com uma linguagem bem definida.

Neste jogo vais construir o teu próprio sistema de comunicação por fibra ótica. Embora numa escala muito menor, é semelhante ao que liga os computadores em todos os continentes através da Internet. Vais poder enviar informações como *flashes* de luz através de uma fibra ótica, com o teu próprio idioma de sinais de luz, ou como os especialistas chamam, com o teu próprio "protocolo".



O jogo

Para jogar este jogo, forma duas equipas na tua turma. O jogo consiste em duas partes:

Na primeira parte, ambas as equipas têm 30 minutos para desenvolver o seu próprio protocolo e escrever duas cópias do mesmo - uma para o emissor e outra para o recetor. O teu protocolo pode, por exemplo, definir a forma como cada letra do alfabeto é representado por um sinal de luz, como as letras são separadas e assim por diante. Ao fim de 30 minutos, tens que dar essas duas cópias ao teu professor.

Na segunda parte, coloca a fibra na diagonal da sala de aula. A primeira equipa subdivide-se num grupo emissor e num grupo recetor; cada grupo fica sentado junto às extremidades opostas da fibra. A segunda equipa fica entre o emissor e o recetor para assegurar que ninguém faz batota enquanto a mensagem é enviada através da fibra. Quando a primeira equipa tiver enviado com sucesso a sua mensagem, as duas equipas trocam de posições e a segunda equipa envia a sua mensagem. NOTA: a palavra a enviar é fornecida pelo professor a cada grupo emissor!!!

Regras

- 1) A equipa vencedora é aquela que enviar corretamente a mensagem através da fibra ótica, no menor intervalo de tempo.
- 2) A mensagem é uma palavra com 10 letras não repetidas, sem conter números, espaços em branco ou símbolos de pontuação. A palavra a enviar é fornecida pelo professor.
- 3) Cada equipa recebe dois módulos LED - um para o grupo emissor e outro para o grupo recetor. Podem ser enviados sinais em ambas as direções através da fibra!
- 4) Cada equipa tem de desenvolver o seu próprio protocolo para codificar a mensagem em sinais de luz. Terá ainda que escrever duas cópias do protocolo, uma para o grupo emissor e outra para o grupo recetor.
- 5) A comunicação entre o emissor e o recetor só é permitida por sinais de luz a partir do módulo de LED emissor, através da fibra ótica. Não é permitido falar!
- 6) Se alguém fizer batota, o respetivo grupo receberá 1 minuto de penalização ou poderá mesmo ser desclassificado.

Dicas

Podes produzir diferentes sinais de luz com o módulo de LED. Quais podem ser facilmente reconhecidos pelo recetor? Como vais estruturar os sinais para permitir enviar e decodificar rapidamente a mensagem?

Como podes dividir o trabalho entre emissores e recetores? Trabalho eficaz em equipa é a chave para o sucesso!...

E se cometeres um erro? Como é que vais avisar que precisas de corrigir ou repetir uma mensagem? Como é que o emissor sabe que o recetor recebeu a mensagem sem erros?

8.1.3.2 Cores



O meu nome: _____

cores | arco-íris



O segredo das cores do arco-íris



Quando vês um arco-íris, o que pensas? Talvez ... esperança, diversão, beleza - ou apenas chuva? A maioria das pessoas delicia-se com a presença de um arco-íris e fica fascinada com as suas belas cores. Mas de onde é que vêm, na verdade, as cores de um arco-íris?

A lenda diz que no local onde um arco-íris toca o solo encontra-se um pote de ouro (ou um balde de tinta). Até hoje, nada disto foi cientificamente comprovado. Contudo, se descobirmos a origem do arco-íris, compreenderemos muito melhor das cores: o que são e como são produzidas.

Esta ficha de trabalho vai-te ajudar a revelar o segredo das cores do arco-íris, utilizando apenas um CD e filtros de cor. No entanto, vais precisar de estar com muita atenção! A observação cuidadosa é a chave para experiências bem sucedidas!



1 O arco-íris não aparece só no céu.

Coloca um copo de água em frente à luz do Sol, olha em volta dele (dica: joga com as sombras) e verás algumas franjas coloridas. Tens uma régua transparente? Segura-a à luz do sol e vê se consegues obter um **arco-íris**! Alguns cristais até projetam arco-íris em diferentes direções. Mesmo quando o céu estiver nublado, poderás ver as cores do arco-íris com um CD. Onde mais podes encontrar o arco-íris? Faz, abaixo, um esboço de pelo menos mais uma maneira de criar um arco-íris:



2 A luz do dia, um copo de água ou um CD, que cor têm? De onde te parece que vêm as cores do arco-íris? Se tiveres uma **teoria**, escreve-a aqui:





O meu nome: _____

cores | arco-íris

Para saberes mais sobre a origem das cores do arco-íris, vamos trabalhar com **um CD e filtros de cor**. Filtros de cor "produzem" cores de uma forma diferente do CD ou do arco-íris do céu. Se entendermos como funcionam os filtros de cor, podemos usá-los como ferramenta na busca da causa das cores do arco-íris.

Antes de tirares os filtros para fora do saco plástico, retira todos os objetos desnecessários de cima da mesa e coloca uma folha de papel branco no meio da mesa. Segue esta regra simples: qualquer filtro que não está a ser usado, deve ser pousado nesta folha de papel juntamente com o saco plástico. E por favor, lida com cuidado com os filtros e evita arranhões ou impressões digitais sobre eles. Obrigado!



- 3 Coloca cada um dos filtros contra uma folha de papel branco ou uma parede branca. Consegues identificar as cores vermelho, verde, azul, ciano, magenta e amarelo?
- 4 O que te parece? Haverá algo adicionado à luz branca quando esta passa através do filtro, ou pelo contrário algo foi retirado à luz branca?
- ☐ O filtro de cor adiciona algo à luz branca que a faz tornar-se colorida.
- ☐ O filtro de cor retira algo da luz branca e o resto aparece colorido.
- 5 Podes dar **provas** que suportem a tua opinião? Dica: Pensa em experiências usando vários filtros ou fundos coloridos. Antes de realizares a atividade, descreve ou desenha aqui a experiência que pretendes fazer:

- 6 Que resultados esperas obter da experiência? Como é que eles te ajudam a provar, ou não, a teoria que apresentaste no ponto 4?

- 7 O que **observas**? Regista aqui apenas o que *vês*, não o que interpretas a partir da experiência! Por outro lado, também convém anotares aqui toda a observação interessante que fizeste, mesmo que não pareça diretamente relacionada com a questão em análise.

- 8 Que podes **concluir**? Como funcionam os filtros de cor?



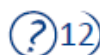
- 9) Vamos voltar para o arco-íris. De onde vêm todas as cores diferentes do arco-íris? Coloca o CD na mesa para poderes ver as cores do arco-íris. Sem moveres a cabeça, mantém o filtro de cor vermelha à frente de um dos olhos e fecha o outro. Alterna entre olhar para o CD através do filtro e sem ele. O que vês, se olhares atentamente para as cores do arco-íris? Como é que o seu brilho muda quando visto através do filtro?



- 10) Repete a experiência usando outros filtros de cor. Que *diferenças* (e *semelhanças*) observas?



- 11) Agora realiza a experiência ao contrário: Filtra a luz com o filtro vermelho antes de ela chegar ao CD, de modo que apenas a luz vermelha incida no CD. Consegues obter **as cores do arco-íris a partir de luz colorida?** O que acontece se tentares com outros filtros de cor?



- 12) Por agora provavelmente tens uma ideia de como a luz branca está relacionada com a cor. As causas físicas exatas diferem nos exemplos do CD e do arco-íris no céu, mas em ambos os casos algo acontece com a luz branca, de modo a criar as cores do arco-íris que consegues ver. Sabes o que é? Podes dar provas que suportem a tua opinião?

Obter a cor certa



Qual a tua cor favorita? Como é que a obténs?

Quando podemos escolher, preferimos ter um lápis, um saco ou uma *T-shirt* com as cores que gostamos. Hoje, tomamos muitas vezes como um dado adquirido que os produtos estão disponíveis em cores diferentes. Todavia, os químicos trabalharam arduamente para encontrar moléculas (um grupo de átomos que estão ligados entre si) que absorvem componentes da luz branca e assim produzem a cor desejada! Ao longo do tempo, os químicos têm encontrado diversas formas de fazer essas moléculas manterem-se nos objetos, de modo a que possamos vê-los coloridos: pinturas, tintas, corantes ...

No entanto, não é tão fácil como parece colorir as coisas, especialmente quando se pretende combinar e obter uma cor específica que se tem em mente. Para obteres a cor certa, geralmente terás que misturar outras cores, exatamente na proporção certa. Nesta ficha de trabalho, vamos explorar algumas das muitas maneiras de o fazer.

- 1 Para ilustrar o quão difícil pode ser em reproduzir exatamente uma cor específica, tenta copiar a **cor dos olhos** de um colega da tua turma. A íris, o anel colorido em torno do centro do olho, age como uma espécie de porta para controlar a quantidade de luz que entra no olho. Todas as pessoas têm uma íris de cor diferente. Algumas podem ser muito parecidas, mas a pesquisa mostra que nem mesmo os olhos dos gêmeos são idênticos - cada íris é única!

Escolhe alguém da tua turma que tenha os olhos da cor que mais gostarias de copiar. Usa qualquer técnica de pintura da tua preferência (aguarela, canetas de feltro, marcadores, lápis de cor, ...) e tenta reproduzir a cor dos olhos o mais próximo possível. Podes verificar se conseguiste a cor certa, se outros colegas puderem identificar o modelo do teu olho com base no teu trabalho artístico.



- 2 Quantas cores diferentes misturaste para reproduzir a cor do olho do teu colega? _____

Agora olha para as **fotografias impressas** nos teus manuais escolares. Depois da tua experiência anterior, não achas que é impressionante como o editor deste livro consegue imprimir cores tão fiéis? Como é que as pessoas na tipografia fazem isso? Observa e encontra a solução por ti mesmo!

- 3 Analisa uma impressão com uma **lupa potente**, de preferência numa região brilhante da imagem. O que observas? No que é que a imagem realmente consiste?



- 4 Como poderás obter uma impressão a **branco**? E como terás que fazer para controlar a **intensidade** das cores numa impressão?

- 5 Que te parece: Quantas cores diferentes são usadas para obter todas as cores que vês? Consegues adivinhar quais são essas cores?

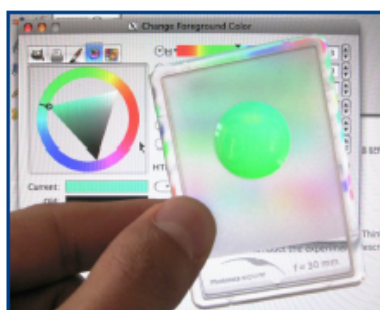
- Antes de responder a estas perguntas, vamos estudar uma outra forma complementar de misturar cores. Ambas as cores que usaste para pintar os olhos e as cores usadas para a impressão, absorveram partes da luz branca. Uma vez que a cor da luz depende da sua composição, também deve ser possível combinar a luz de diferentes cores para criar uma nova cor. Na verdade, esta é exatamente a técnica usada nas **telas coloridas**, como a do teu telemóvel ou a do computador portátil. Usa novamente a lupa e descobre como isso funciona!

- 6 Usa a lupa para olhar para um pixel branco num monitor. Com ampliação suficiente vais poder ver que o pixel branco já não parece ser branco! Usa um lápis para desenhares o que vês, no espaço vazio que se encontra à direita.

- 7 Como é que obténs um pixel **branco** ou um pixel **preto** numa tela?

- 8 Como é que numa tela se altera a **intensidade** das cores?

- 9 Localiza o menu para a escolha de cores, num *software* gráfico para computador. Joga com os diferentes parâmetros de mistura de cores e olha para a cor resultante com a lupa (ver imagem). Em seguida, tenta criar as cores indicadas na tabela à direita da imagem (ver abaixo) e anota os parâmetros que usaste.



Menu de escolha de cores de um software de edição gráfica.

| cor | |
|----------|--|
| vermelho | |
| verde | |
| azul | |
| ciano | |
| magenta | |
| amarelo | |

- 10 Podes aprender muito sobre as cores, se jogares com os parâmetros no menu de escolha de cores e tentares entender o que eles representam. Consegues estabelecer uma **relação** entre as cores na paleta? Se tiveres uma ideia de como o fazer, planifica uma experiência que possa suportar a tua opinião e descreve-a.



O meu nome: _____

cores | mistura

Quase todas as fotografias e imagens que vês impressas nos livros, cartazes ou nas embalagens dos produtos do supermercado, são impressas com tinta preta e apenas três cores: **ciano, magenta e amarelo**. Misturando apenas estas três cores, podes recriar o espectro completo de cores que observas em todas as impressões à tua volta.

Por outro lado, viste que o monitor do computador ou o ecrã do telemóvel misturam cores em cada pixel, controlando assim a intensidade luminosa das minúsculas fontes de luz **vermelho, verde e azul**. Por que se misturam as cores vermelho, verde e azul para obter cores por adição de luz, mas usam-se as cores ciano, magenta e amarelo quando se criam cores por absorção de luz? A atividade com o menu de escolha de cores no ponto 8, provavelmente deu-te uma pista sobre este assunto. Aqui estão mais algumas experiências para que possas aprender melhor:

- 11) Coloca uma folha de papel branco sobre a mesa e separa os **filtros de cor**, colocados sobre ela em dois grupos: 1) ciano, magenta, amarelo; 2) vermelho, verde, azul. Pega no primeiro grupo e testa todas as combinações possíveis entre os filtros. Quais as cores que consegues gerar?

ciano e magenta: _____

ciano e amarelo: _____

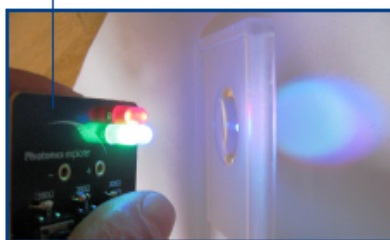
amarelo e magenta: _____

amarelo, magenta e ciano: _____



- 12) Agora, testa todas as combinações de dois filtros, usando os filtros do segundo grupo. Compara os resultados desta experiência com os dos filtros do primeiro grupo: Que diferenças notas em relação à experiência do ponto anterior?

- 13) Pede ao teu professor o **módulo de LED** e liga-o à pilha. Descobre como podes ligar todas as três cores ao mesmo tempo e depois projeta a luz sobre a folha de papel branco. Em seguida, pega na lupa e coloca-a entre a fonte de luz e o papel para que as três cores apareçam projetadas como discos sobrepostos. Qual a cor que aparece no centro? És capaz de explicar porquê?



- 14) Testa todas as combinações das três cores e regista, abaixo, que cor observas no local onde a mistura das luzes tem aproximadamente a mesma intensidade.

azul e verde: _____

azul e vermelho: _____

vermelho e verde: _____

vermelho, verde e azul: _____

- 15) O que podes **concluir** das experiências realizadas de 11 a 14, acerca das relações entre as 6 cores? Consegues explicar por que se usa vermelho, verde e azul para as telas, mas utiliza-se ciano, magenta e amarelo para a impressão?

8.1.3.3 Lentes e telescópios



O meu nome: _____

Lentes e Telescópios | A trajetória da luz

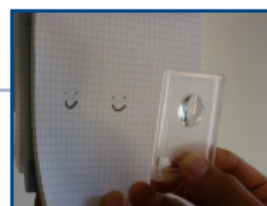
A trajetória da luz

Ver é acreditar? Todos sabemos que a luz viaja em linha reta. Mas os cientistas descobriram uma maneira de "dobrar" a luz e controlá-la de forma muito precisa - usando lentes. Podes usar lentes para fazer as coisas parecerem diferentes do que são e também para aprender como os astrónomos olham para as estrelas!



1

Nesta atividade irás necessitar do conjunto de três lentes. Pega numa das lentes e segura-a a cerca de 20 cm do teu olho. Pede a um colega para segurar um objeto (por exemplo, uma tampa de garrafa de refrigerante) atrás da lente e move-o para mais perto e mais longe da lente. Observa as imagens que se formam e regista o que vês numa tabela como a que é abaixo indicada. Adiciona colunas ou linhas se for necessário. Repete a experiência com as outras lentes.



| Tipo de lente | Distância focal | Distância da lente ao objeto | Tamanho da imagem | Orientação da imagem |
|---------------|-----------------|------------------------------|-------------------|----------------------|
| biconvexa | | | | |
| ... | | | | |
| ... | | | | |



2

Coloca sobre a mesa a lente de distância focal 30 milímetros e fixa-a na vertical. Em vez da tampa de refrigerante, vais agora usar o LED. Pede a um colega do grupo para acender todos os 3 LEDs e segurar a placa que os contém, por trás da lente. Pede a uma terceira pessoa do teu grupo para mover um pedaço de papel branco (a tela), do outro lado da lente até que consigas ver uma imagem nítida dos LEDs. Podes ter que ajustar a posição dos LEDs e da tela. Faz as tuas anotações acerca da imagem obtida (por exemplo, orientação, localização, ...).



Repete a experiência, mas agora com a lente de distância focal - 30 mm e MANTÉM o resto inalterado. Consegues obter uma imagem igualmente nítida na tela?



3

O que acabaste de ver na tela com a lente convergente foi uma **imagem real**. A lente biconvexa desvia os raios de luz de tal modo que eles realmente convergem num ponto que se situa do outro lado da lente, formando uma imagem. Com a lente biconcava não consegues produzir uma imagem semelhante na tela porque neste caso, os raios de luz não convergem. A lente biconcava faz com que os raios divirjam entre si. Se procurarmos a origem destes raios, e devemos fazê-lo através dos seus prolongamentos, iremos encontrá-los num ponto atrás da lente (do mesmo lado do objeto), que é de onde parecem surgir os raios. Portanto o que observámos é uma **imagem virtual**. Foi este tipo de imagem que observaste no ponto 1, quando o objeto se aproximava da lente.



4

No ponto 2, será possível formar uma **imagem virtual** com a lente de 30 milímetros? Descobre por ti mesmo!



O meu nome: _____

Lentes e Telescópios | A trajetória da luz

Vais agora colocar-te na pele de Galileu e de Kepler: dois famosos astrónomos que construíram os primeiros telescópios conhecidos e nos abriram os olhos para os mistérios do universo. Vais descobrir como cada um dos telescópios funcionava, construindo-os tu mesmo!



5 Podes construir um telescópio com apenas uma lente? Discute com o teu grupo o que o teu telescópio deve fazer e decide qual é o menor número de lentes de que necessitas para construir o telescópio.



6 O telescópio de Galileu usava uma lente com distância focal negativa designada como *ocular negativa* (próxima do olho) e uma lente com distância focal positiva designada por *objetiva positiva* (do lado do objeto). Usa a lente de *distância focal - 30 mm* como ocular e leva-a bem próximo do teu olho. A lente de *distância focal +150 mm* será a tua lente positiva que poderás usar para focar um objeto ao longe. Move a lente maior até que o objeto fique focado. Como é a imagem resultante? Pede a um colega do grupo para medir a distância entre as lentes e comenta os resultados. (Lembra-te que o telescópio funciona melhor com objetos distantes, portanto usa como objeto a focar algo que se encontre fora da sala e que se possa ver através de uma das janelas, ou um objeto que se encontre colado na parede mais distante da sala).



7 Repete a experiência, agora com uma *ocular positiva* e uma *objetiva positiva*. Usa a lente de *distância focal + 30 mm* como ocular. Este é o **telescópio de Kepler**. O que é que vês e em que se diferencia da versão de Galileu?




8 Ambos os telescópios ampliam o objeto para o qual estás a olhar – podes até calcular o quanto eles ampliam o objeto, usando a relação abaixo fornecida. Se obtiveres um número negativo, o que achas que isso significa?

$$\text{Ampliação} = - \frac{\text{Distância focal da objetiva}}{\text{Distância focal da ocular}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{Ampliação} = \underline{\hspace{2cm}}$$

8.1.3.4 Olho e visão



O meu nome: _____

Olho e Visão | Dentro do Olho

Dentro do Olho


Os nossos olhos dão-nos o sentido da visão e permitem-nos ficar a saber mais sobre o mundo em que vivemos do que qualquer outro dos nossos sentidos - podes ler estas palavras devido à tua visão! Mas o funcionamento do olho é um mecanismo muito complexo; na verdade, é muito mais complexo do que qualquer máquina fotográfica que possas conhecer. Convém então colocar a seguinte questão: "Assim, como funciona o olho"? Vamos descobrir...

O olho humano é constituído por sete importantes componentes. O olho foca um objeto, desviando (refratando) os raios de luz provenientes desse objeto até à retina. Assim e tal como com uma máquina fotográfica, há constituintes do olho que controlam a forma como a luz é refratada, a quantidade de luz que entra no olho e a forma como a informação sobre o que se está a ver é transmitida ao cérebro. De facto, o olho é o dispositivo ótico por excelência e, embora possa fazer a maioria das coisas que a máquina fotográfica faz, os cientistas ainda terão muito que inventar para construir uma máquina que faça tudo o que o olho faz - tudo dentro do tamanho de um globo ocular!

1 **O quebra-cabeças da página seguinte** mostra os componentes de uma máquina fotográfica digital e os constituintes do olho humano. Mas eles estão todos misturados! Analisa-os com os elementos do teu grupo. Corta os diferentes componentes ao longo das linhas tracejadas e organiza-os tendo em conta o trajeto da luz. Pensa por onde a luz entra em cada um e o que acontece com a luz que passa através deles. Depois de teres terminado, verifica com o professor se acertaste! Depois, cola os componentes no teu caderno, pela ordem correta.


2 **Após teres colocado** todos os componentes ordenadamente, discute em grupo qual a função de cada componente. Primeiro discute sobre a máquina fotográfica e, em seguida, passa para o olho. Regista nas linhas seguintes as anotações sobre cada componente. Vais ver que muitos dos constituintes do olho e da máquina fotográfica fazem coisas semelhantes! Mas, existem também algumas diferenças. Sabes quais? (Dica: pensa nos componentes fixos e nos móveis do olho e da máquina fotográfica)

3 **Acreditas** que o olho é por si só suficiente para nos ajudar a ver? Que outro(s) componente(s) achas que nos pode(m) ajudar a ver? Discute estas questões com os elementos do teu grupo e anota algumas ideias.



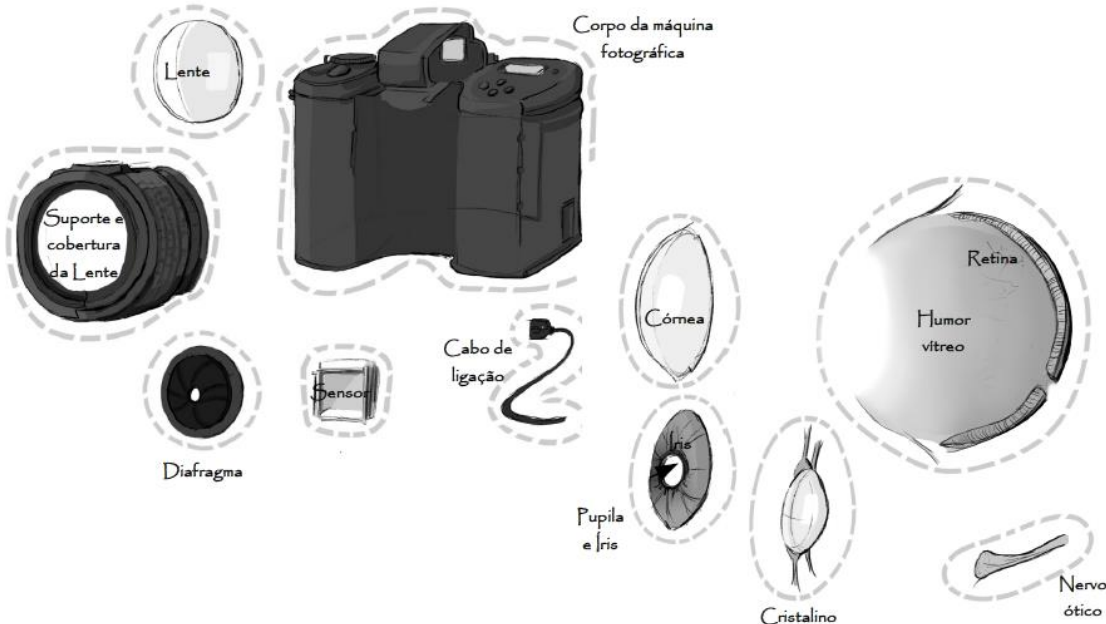
Photonics Explorer | Eye and Vision | WS 4.1 Eye Insight

1/2



O meu nome: _____

Olho e Visão | Dentro do Olho



Componentes de uma máquina fotográfica e de um olho humano

Photonics Explorer | Eye and Vision | WS 4.1 Eye Insight

2/2



Olho e Focagem

Consegues contar o número de coisas que vês num dia, ou até mesmo num minuto? É simplesmente impossível! Se tivesses uma máquina fotográfica em vez de olhos, precisarias de uma lente diferente para cada objeto que vês, para cada distância a que eles estivessem de ti, para cada forma e tamanho! Mas então como é que o olho consegue dar imagens tão perfeitas para tantos objetos, grandes e pequenos, próximos e distantes, e apenas com uma lente?



1 Conjuntamente com os teus colegas de grupo resolve as seguintes questões:

Põe um dedo a cerca de 30 cm de distância e concentra o teu olhar apenas nele. Agora, lentamente, aproxima-o do olho, olhando sempre para ele. Quando o dedo começar a parecer desfocado, pede a um colega do teu grupo para medir aproximadamente a distância do teu olho ao dedo e regista-a abaixo.

Será esta distância a mesma para toda a turma? Compara as respostas do teu grupo com as dos outros (pede ao professor para te ajudar nesta tarefa).

Se tu ou alguém do teu grupo usa óculos, então faz esta experiência com e sem óculos. Encontra-se alguma diferença na distância medida? Se assim for, aproximadamente de quanto é essa diferença?

Toma nota: a distância média da córnea do olho à retina é cerca de 24 mm. A equação das lentes finas (ou equação do fabricante de lentes) pode ajudar-te a calcular a distância focal mínima do teu olho. Substitui na equação abaixo as distâncias que mediste anteriormente e determina a distância focal mínima do teu olho:

$$\frac{1}{\text{distância do dedo ao olho (S1)}} + \frac{1}{\text{distância da córnea à retina (S2)}} = \frac{1}{\text{distância focal (f)}}$$

Distância focal mínima do meu olho = _____



2 Observa com atenção a figura 1, onde se mostra a montagem experimental que vais realizar e a respetiva legenda.

Vais precisar de duas lentes convexas com distâncias focais de 150 mm ou 30 mm, uma régua comprida e o módulo de LED. Primeiro, tens que preparar o alvo, que deverá ser uma estrutura estável. Coloca a lente de distância focal 150 mm numa posição e a tela por detrás a pelo menos 250 mm de distância da lente.



3 Acende qualquer cor do módulo LED na direção da lente e move o módulo LED para mais longe ou mais perto da lente, até veres uma imagem nítida no alvo. Quando a imagem for a mais nítida, anota a distância do LED à lente.

Distância focal = 150 mm; Distância à lente = _____



Montagem experimental para medir distâncias focais

Módulo LED

Lente convexa

Alvo



4 Substitui a lente anterior pela de distância focal 30 mm e repete o procedimento da questão 3).

Distância focal = 30 mm; Distância à lente = _____



O meu nome: _____

Olho e Visão | Olho e focagem

Para conseguires ver a imagem mais nítida, em qual das lentes o LED tinha de ser colocado mais longe da lente? E mais perto da lente?

5 Das lentes utilizadas indica a que utilizarias para ver um objeto mais próximo. E mais afastado? (Dica: use a equação das lentes finas)

6 **Acabaste de ver** que tens que usar duas lentes distintas só para ver um objeto a distâncias diferentes. A lente do olho tem a característica especial de poder mudar a sua forma ou **curvatura** para seguir um objeto. Por exemplo, para ver objetos distantes, a lente deve ser praticamente plana - portanto, com grande distância focal. Para ver objetos mais perto do olho, a lente deve ser mais arredondada - ou seja, com menor distância focal. Este processo é chamado 'acomodação' e é uma particularidade muito especial do olho humano. Em ambos os casos, uma imagem nítida é formada na retina.

Alguém com "visão normal" pode ver claramente um objeto a cerca de 20 metros de distância. Se tal não acontecer, pode-se usar óculos para corrigir a "miopia" (dificuldade em ver objetos que estão longe) ou a "hipermetropia" (dificuldade em ver objetos que estão próximos). Uma pessoa míope pode ver objetos próximos com nitidez, mas não objetos ao longe, e o contrário acontece para uma pessoa com hipermetropia.

Podes dizer qual o problema da curvatura da lente do teu olho (ou seja, não é plana ou arredondada o suficiente) e da distância focal (ou seja, se não é longa ou curta o suficiente)? Desenha o que acontece em cada tipo de olho, se isso te ajudar.

Miopia (a imagem forma-se à frente da retina)

Hipermetropia (a imagem forma-se atrás da retina)

Inserir imagem do olho

Inserir imagem do olho

7 Discute com os teus colegas de grupo que tipo de lente pode ser usada para corrigir cada defeito de visão.

8.1.4 Dicas para os professores

Dicas para operar com as atividades do *Photonics Explorer*



Aspetos gerais

O kit contém um conjunto alargado de materiais para poder realizar as várias atividades. Contudo, é aconselhável que tenha à mão vários instrumentos/materiais, que certamente vai necessitar e/ou que serão úteis durante as aulas. Assim, coloque na caixa ou tenha disponível:

- CD e DVD virgem (algumas unidades).
- Fita-cola transparente e translúcida (de preferência).
- 1 chave de parafusos.
- Transferidor (algumas unidades).
- Tesoura de papel (algumas unidades).
- Fita-métrica (10 unidades; por exemplo, fita-métrica de papel).
- Folhas de papel branco e de papel quadriculado.
- Pilhas de 9 V (10 pilhas, no máximo).
- Molas da roupa (20 unidades).
- 1 alvo (10 unidades).
- 1 balança.

Em alguns módulos (por exemplo, M01, M04), será útil ter preparadas folhas de papel separadas das atividades, para os alunos recortarem/dobrarem.

Também se recomenda que os alunos tenham um pequeno caderno, onde deverão apontar tudo o que realizado durante as atividades e que não esteja previsto nas *fichas de trabalho* do kit (por

exemplo, ideias resultantes das discussões em grupo, observações e dicas experimentais, valores numéricos recolhidos, esquemas de montagens, etc.).

Módulo M01: Sinais Luminosos

- Atividade 2: posicionar LED por cima da fenda e modo a observar o feixe sobre a linha preta e observar o feixe refletido. Sugere-se o feixe verde, por ser o mais visível pelo olho humano, o qual deve estar a cerca de 3 cm da fenda.
- Marcar o feixe refletido com um lápis e medir o ângulo de reflexão com um transferidor.
- Superfícies a usar: além da espelhada existente no kit, poderá usar uma transparente (régua de plástico, ou um vidro plano), translúcida (papel vegetal) e opaca (papel branco). No caso da espelhada, quando observam o feixe incidente e refletido numa direção perpendicular ao espelho, podem ver as imagens (virtuais) dos feixes formadas para lá do espelho. Nessa altura, poderão explorar as características das imagens formadas.
- No final: podem destacar a fenda da dobra inferior; fazer incidir a luz por ângulos diferentes e para cada um, traçar os feixes incidente e refletido; medir os respetivos ângulos de incidência e de reflexão, por forma a concluir que relação existe entre eles (lei da reflexão).

Módulo M02: Cores

Neste módulo serão necessários 10 CD, folhas de papel branco e réguas ou fitas-métricas. Também é necessário ter alguns computadores disponíveis, para os alunos usarem o “*software*” recomendado; em alternativa, essa parte poderá ser feita como trabalho para casa.

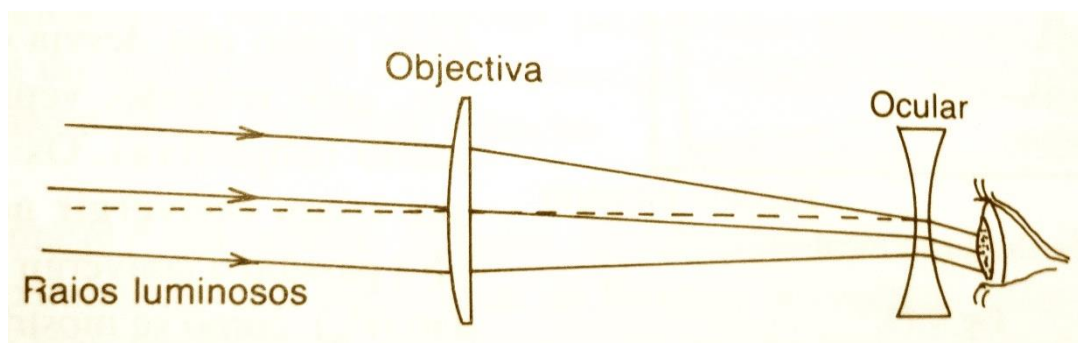
- Sugerir a utilização da luz dos módulos LED; usar os filtros para analisar as cores obtidas.
- Será necessário que os alunos tragam lápis de cor.
- Instalar o programa *gimp* (<http://www.gimp.org>), para observar o efeito da composição das cores em fotografias.

Módulo M03: Lentes e Telescópios

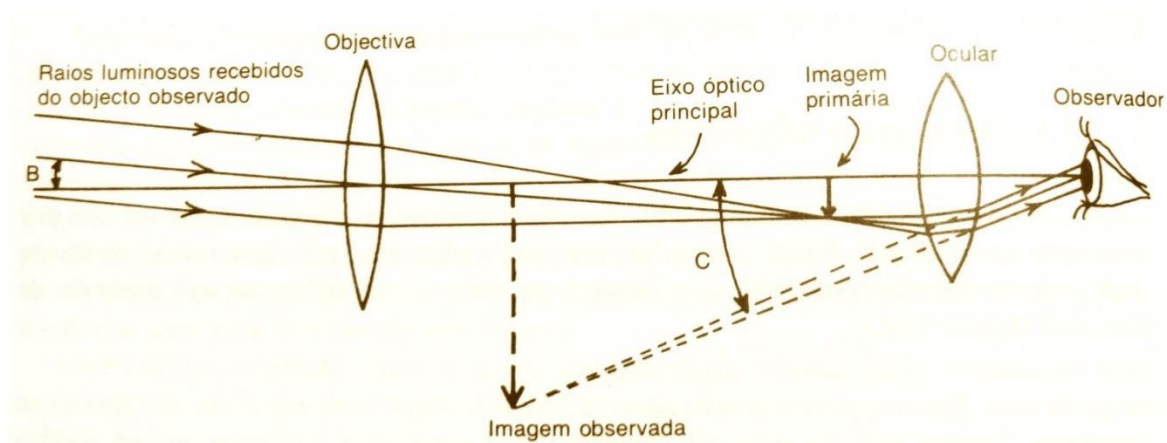
Neste módulo será útil ter disponível fita-métrica e fita-cola.

- Notas para Professores: poderá ser vantajoso projetar a construção de imagens de lentes convergentes e divergentes, para melhor compreensão dos alunos. Eles poderão acompanhar a formação dessas imagens com as lentes do kit e finalizar, concluindo, sobre as suas características e condições para a sua obtenção.
- Atividade 2: explorar a inversão das imagens com a lente convergente: não apenas na vertical, mas também na horizontal (porquê?). Sugere-se que os LED sejam colocados numa disposição em “triângulo”.
- Para melhor compreender a formação das imagens, poderá ser muito formativo ter esquemas da construção de imagens da luneta de Galileu e da luneta de Kepler:

Luneta de Galileu:



Luneta de Kepler:



(Máximo Ferreira, Guilherme de Almeida, *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, Plátano Editora, S.A. (1ª edição), 1993, pp. 212-213)

- A quando da formação das imagens, poderá fixar a objetiva e comparar a posição da ocular nos dois casos: deverá verificar que na luneta de Galileu a posição da lente está aquém do foco da objetiva, enquanto na luneta de Kepler a ocular está mais afastada da objetiva, a uma distância superior à distância focal, tal como esquematizado nas figuras.

Módulo M04: Olho e Visão

- Por lapso, a fórmula está em inglês – deverá fazer a tradução dos termos para português e dar aos alunos.
- Atividade 6: acompanhar com imagens de um olho míope e de um olho hipermetrope; poderá usar a lente de + 30 mm para mostrar as duas doenças oftálmicas.

Vídeo Photonics Explorer: <https://youtu.be/zpSyZSdf6ig>

8.2 Anexo 2 – teste de ótica

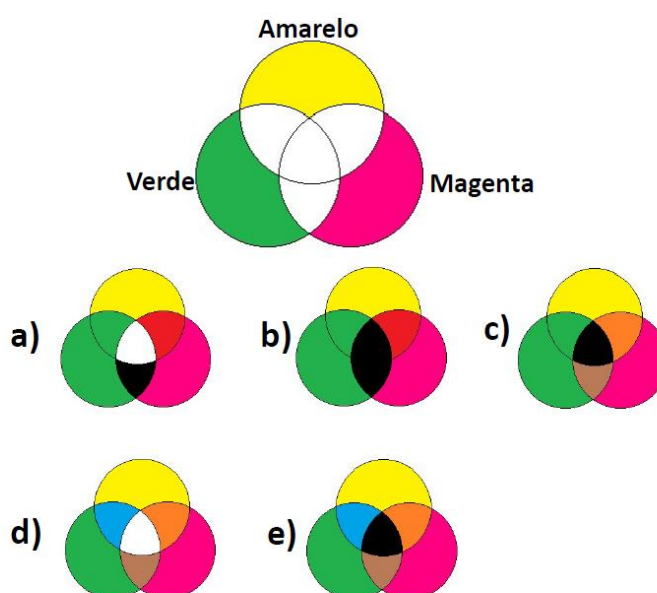
8.2.1 Informação de apoio ao teste

Teste conceptual – Ensino Básico

Item 10



Item 11



8.2.2 Teste de ótica

Teste conceptual

Ótica no Ensino Básico

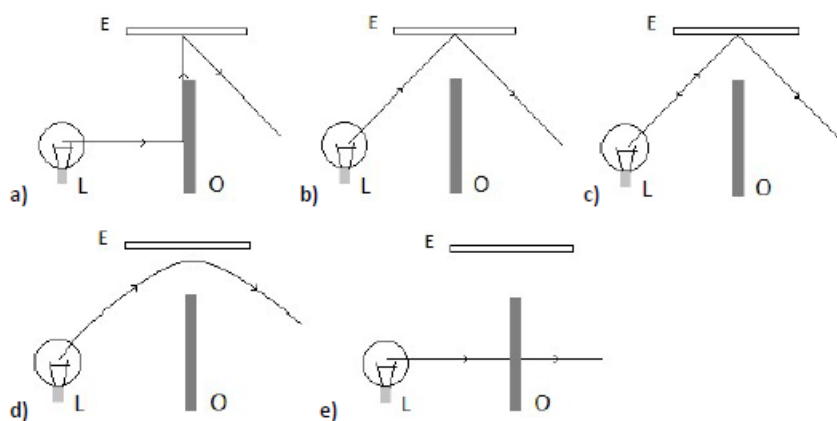
Duração: 45 min



1. A figura representa uma lâmpada L, um obstáculo opaco O e um espelho E colocado por cima do obstáculo num meio homogêneo.



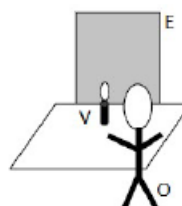
Qual das figuras representa corretamente o trajeto de um raio luminoso, com origem em L, que se propaga para lá do obstáculo?



2. A figura seguinte representa uma vela (V) em frente a um espelho plano (E) e um observador (O).

Onde se localiza a imagem da vela?

- Na superfície do espelho.
- À frente do espelho.
- Atrás do espelho, à mesma distância da vela ao espelho.
- Atrás do espelho, à mesma distância do observador ao espelho.
- Não se forma imagem.



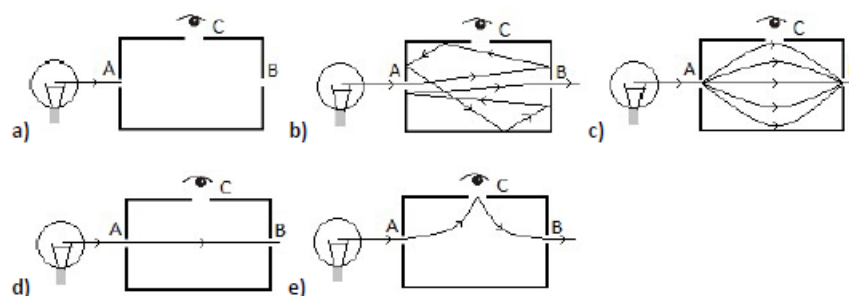
3. Usando ainda a representação da questão anterior, pode-se afirmar que na perspectiva do observador:

- a) A imagem da vela é direita e maior que a vela.
- b) A imagem da vela é direita e menor que a vela.
- c) A imagem é direita e do mesmo tamanho que a vela.
- d) A imagem é invertida e do mesmo tamanho que a vela.
- e) A imagem é invertida e de tamanho diferente da vela.

4. Um feixe luminoso entra numa caixa opaca e fechada, contendo dois orifícios A e B em faces opostas. Existe ainda um orifício C na face superior, por onde se pode espreitar para o interior da caixa.

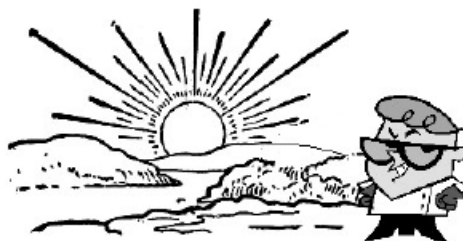


Qual dos esquemas seguintes representa o trajeto da luz?



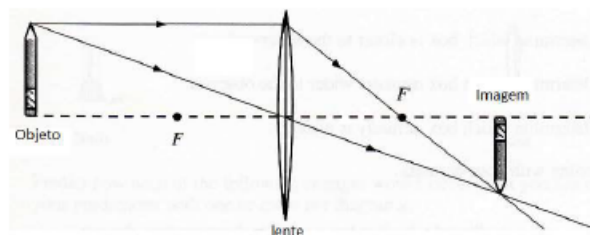
5. Um rapaz com óculos graduados observa o pôr-do-sol.

Qual das seguintes afirmações descreve os fenómenos óticos sofridos pela luz solar, até esta chegar aos olhos do rapaz?



- a) A luz solar atravessa a atmosfera e sofre apenas refração nas lentes dos óculos.
- b) A luz solar sofre espalhamento na atmosfera e refração nas lentes dos óculos.
- c) A luz solar sofre espalhamento na atmosfera, reflexão e refração nas lentes dos óculos.
- d) A luz solar sofre espalhamento na atmosfera, absorção, reflexão e refração nas lentes dos óculos.
- e) A luz solar sofre espalhamento na atmosfera, dispersão, absorção, reflexão e refração nas lentes dos óculos.

6. A figura representa a construção de uma imagem de um objeto obtida com uma lente convergente, de foco em F .



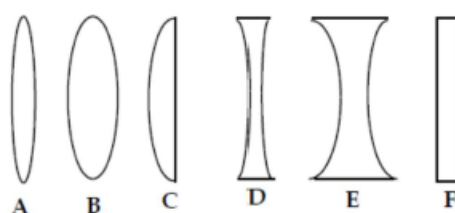
Qual das seguintes afirmações é verdadeira?

- a) Se o objeto for deslocado para a direita, a imagem aumenta sempre.
- b) Se o objeto estiver sobre o foco, a imagem é real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto.
- c) Se o objeto estiver entre o foco e a lente, esta comporta-se como uma lupa.
- d) Se o objeto estiver entre o foco e a lente, a imagem é direita, real e maior que o objeto.
- e) A imagem e o objeto nunca são do mesmo tamanho.

7. Considerando a figura da questão anterior, é correto afirmar que:

- a) Se a potência da lente aumentar e o objeto mantiver a mesma posição, então o tamanho da imagem será menor.
- b) Se a potência da lente aumentar e o objeto mantiver a mesma posição, então a imagem passará a ser virtual.
- c) Se a potência da lente aumentar e o objeto mantiver a mesma posição, então a imagem deixará de ser invertida.
- d) Se substituirmos a lente convergente por uma lente divergente, a imagem continuará a ser real.
- e) Se substituirmos a lente convergente por uma lente divergente, a imagem continuará a ser invertida.

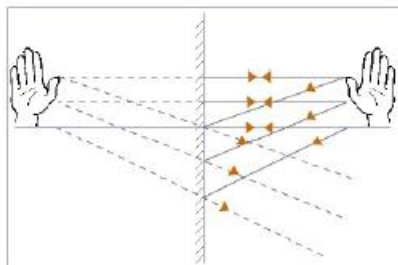
8. A figura representa um conjunto de acessórios transparentes de ótica, com superfícies de diferentes curvaturas.



Qual das seguintes afirmações é verdadeira?

- a) Os acessórios A e B são os únicos com distância focal positiva.
- b) O valor da potência do acessório B é aproximadamente igual ao do acessório E.
- c) Os acessórios D e E são lentes convergentes.
- d) O acessório C só é uma lente quando a luz incide do lado da curvatura (esquerdo).
- e) A ampliação produzida pelo acessório F é 1.

9. Na figura pode-se observar a imagem de uma mão refletida num espelho plano e a respectiva construção esquemática.



Qual das afirmações seguintes é a única verdadeira?

- a) O espelho provoca uma inversão lateral, transformando a mão esquerda numa mão direita.
- b) O espelho provoca uma inversão lateral, transformando a mão direita numa mão esquerda.
- c) O objeto, o espelho e a imagem encontram-se no mesmo plano.
- d) Embora invertida, a imagem da mão é real.
- e) O objeto e a imagem são simétricos em relação ao plano do espelho.

10. Na figura pode-se observar a imagem de um quarto de criança, iluminado com luz branca.



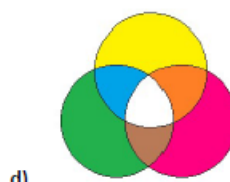
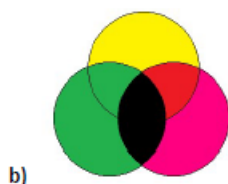
Se a luz branca fosse substituída por luz percecionada como vermelha, qual das frases estaria correta?

- a) O berço e os quadrados azuis ficariam de cor vermelha.
- b) O berço ficaria vermelho e os quadrados vermelhos ficariam pretos.
- c) Os quadrados verdes e amarelos ficariam vermelhos.
- d) Os quadrados verdes e azuis ficariam pretos.
- e) O berço ficaria branco e os quadrados amarelos ficariam vermelhos.

11. Considere a seguinte imagem que representa a sobreposição de três filtros coloridos: verde, magenta e amarelo quando observados à luz solar. As zonas de interseção foram propositadamente deixadas em branco.



Qual das seguintes opções indica corretamente as cores obtidas pela sobreposição dos filtros?



12. Qual das frases descreve corretamente uma forma de se obter a “cor” preta?

- a) Misturar tintas verde e vermelha.
- b) Filtrar luz branca através de um filtro amarelo e outro vermelho.
- c) Fazer passar luz branca através de um prisma e depois através de filtros ciano e verde.
- d) Fazer convergir luz azul, verde e vermelha num alvo branco.
- e) Misturar tintas magenta e ciano.

13. Qual das seguintes opções menciona radiações que não pertencem ao espectro da luz solar?

- a) Infravermelho e ultravioleta.
- b) Castanho e branco.
- c) Vermelho e azul.
- d) Amarelo e laranja.
- e) Anil e violeta.

8.2.2.1 Exemplo de respostas dadas pelos estudantes

Ótica no EB

Escola: INA
 Número: 298
 Género: M/F
 Ano: 2º Turma: E

| Questão | Resposta |
|---------|----------|
| 1 | b |
| 2 | a |
| 3 | d |
| 4 | c |
| 5 | a |
| 6 | e |
| 7 | b |
| 8 | d e |
| 9 | d |
| 10 | a |
| 11 | d |
| 12 | d |
| 13 | b |

Ótica no EB

Escola: INA
 Número: 72
 Género: M/F
 Ano: 8º Turma: E

| Questão | Resposta |
|---------|----------|
| 1 | B |
| 2 | A |
| 3 | C |
| 4 | C |
| 5 | D |
| 6 | E |
| 7 | D |
| 8 | A |
| 9 | C |
| 10 | D |
| 11 | D |
| 12 | B |
| 13 | E |

Ótica no EB

Escola: INA
 Número: 898
 Género: M/F
 Ano: 8º Turma: E

| Questão | Resposta |
|---------|----------|
| 1 | a |
| 2 | C |
| 3 | C |
| 4 | C |
| 5 | e |
| 6 | d |
| 7 | C |
| 8 | d |
| 9 | a |
| 10 | b |
| 11 | e |
| 12 | e |
| 13 | b |

Ótica no EB

Escola: INA
 Número: 97
 Género: M/F
 Ano: 8 Turma: E

| Questão | Resposta |
|---------|----------|
| 1 | d e l |
| 2 | c) |
| 3 | c) |
| 4 | d) |
| 5 | a) |
| 6 | b) |
| 7 | c) |
| 8 | a) |
| 9 | d e l |
| 10 | c) |
| 11 | d) |
| 12 | d) |
| 13 | e) |

Ótica no EB

Escola: INA
 Número: 1285
 Género: M/F
 Ano: 8 Turma: E

| Questão | Resposta |
|---------|----------|
| 1 | b) |
| 2 | c) |
| 3 | c) |
| 4 | b) |
| 5 | b) |
| 6 | a) |
| 7 | e) |
| 8 | e) |
| 9 | a) |
| 10 | d) |
| 11 | e) |
| 12 | b) |
| 13 | d) |

Ótica no EB

Escola: INA
 Número: 501
 Género: M/F
 Ano: 8 Turma: E

| Questão | Resposta |
|---------|----------|
| 1 | a |
| 2 | d |
| 3 | C |
| 4 | C |
| 5 | e |
| 6 | d |
| 7 | d |
| 8 | d |
| 9 | b |
| 10 | b |
| 11 | d |
| 12 | C |
| 13 | b |

8.3 Anexo 3 – resultados estatísticos

8.3.1 Estatísticas descritivas

8.3.1.1 Pré-teste

Tabela 8-1. Tabela de frequências em função do fator tratamento aplicado na investigação.

| TIPO DE TRATAMENTO | | | | | |
|--------------------|--------------|------------|-------------|--------------------|------------------------|
| | | Frequência | Porcentagem | Porcentagem válida | Porcentagem cumulativa |
| Válido | EXPERIMENTAL | 30 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| | CONTROLE | 30 | 50,0 | 50,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 100,0 | 100,0 | |

Tabela 8-2. Estatísticas descritivas para o número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.

| Descritivas | | | | |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | | Estatística | Erro Padrão |
| Nº ACERTOS NO PRÉ-TESTE | EXPERIMENTAL | Média | 3,37 | ,337 |
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | 2,68 |
| | | | Limite superior | 4,06 |
| | | 5% da média aparada | 3,30 | |
| | | Mediana | 3,50 | |
| | | Variância | 3,413 | |
| | | Desvio Padrão | 1,847 | |
| | | Mínimo | 1 | |
| | | Máximo | 7 | |
| | | Amplitude | 6 | |
| | | Amplitude interquartil | 2 | |
| | | Assimetria | ,438 | ,427 |
| | | Curtose | -,813 | ,833 |
| | CONTROLE | Média | 3,57 | ,286 |

| | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|-----------------|-------|------|
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | 2,98 | |
| | | | Limite superior | 4,15 | |
| | | 5% da média aparada | | 3,61 | |
| | | Mediana | | 4,00 | |
| | | Variância | | 2,461 | |
| | | Desvio Padrão | | 1,569 | |
| | | Mínimo | | 0 | |
| | | Máximo | | 6 | |
| | | Amplitude | | 6 | |
| | | Amplitude interquartil | | 2 | |
| | | Assimetria | | -,419 | ,427 |
| | | Curtose | | -,286 | ,833 |

Tabela 8-3. Estimadores M para o número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.

| Estimadores M | | | | | |
|---|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | Estimador M de Huber ^a | Biponderação de Tukey ^b | Estimador M de Hampel ^c | Onda de Andrews ^d |
| Nº ACERTOS NO PRÉ-TESTE | EXPERIMENTAL | 3,20 | 3,24 | 3,27 | 3,24 |
| | CONTROLE | 3,72 | 3,75 | 3,67 | 3,75 |
| a. A constante de ponderação é 1,339. | | | | | |
| b. A constante de ponderação é 4,685. | | | | | |
| c. As constantes de ponderação são 1,700, 3,400 e 8,500 | | | | | |
| d. A constante de ponderação é 1,340*pi. | | | | | |

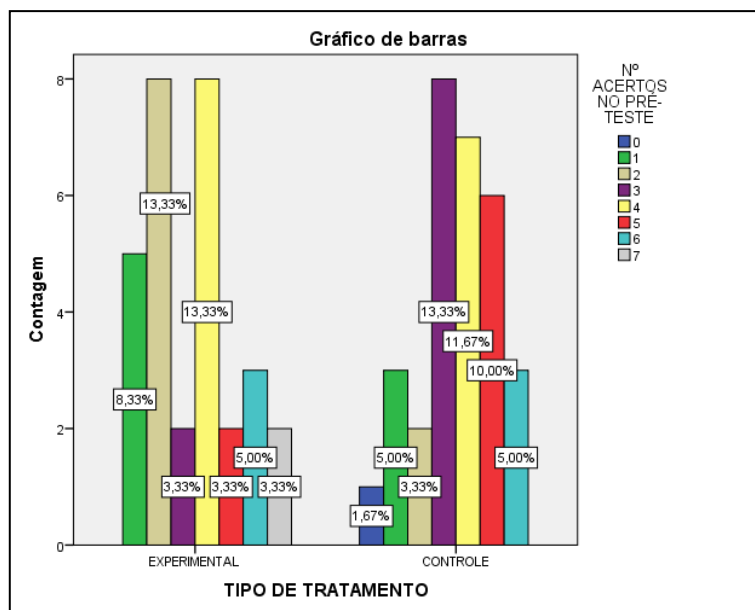


Gráfico 8-1. Frequências do número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.

8.3.1.2 Pós-teste

Tabela 8-4. Estatísticas descritivas para o número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.

| Descritivas | | | | |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | | Estatística | Erro Padrão |
| | | | | |
| Nº ACERTOS NO PÓS-TESTE | EXPERIMENTAL | Média | 7,67 | ,492 |
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | 6,66 |
| | | | Limite superior | 8,67 |
| | | 5% da média aparada | 7,76 | |
| | | Mediana | 8,00 | |
| | | Variância | 7,264 | |
| | | Desvio Padrão | 2,695 | |
| | | Mínimo | 2 | |
| | | Máximo | 12 | |
| | | Amplitude | 10 | |
| | | Amplitude interquartil | 4 | |
| | | Assimetria | -,672 | ,427 |
| | | Curtose | -,313 | ,833 |
| | CONTROLE | Média | 4,00 | ,258 |

| | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|-----------------|-------|------|
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | 3,47 | |
| | | | Limite superior | 4,53 | |
| | | 5% da média aparada | | 3,93 | |
| | | Mediana | | 4,00 | |
| | | Variância | | 2,000 | |
| | | Desvio Padrão | | 1,414 | |
| | | Mínimo | | 2 | |
| | | Máximo | | 8 | |
| | | Amplitude | | 6 | |
| | | Amplitude interquartil | | 2 | |
| | | Assimetria | | ,627 | ,427 |
| | | Curtose | | ,841 | ,833 |

Tabela 8-5. Estimadores M para o número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.

| Estimadores M | | | | | |
|---|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | Estimador M de Huber ^a | Biponderação de Tukey ^b | Estimador M de Hampel ^c | Onda de Andrews ^d |
| Nº ACERTOS NO PÓS-TESTE | EXPERIMENTAL | 8,00 | 8,02 | 7,89 | 8,01 |
| | CONTROLE | 3,94 | 3,87 | 3,91 | 3,87 |
| a. A constante de ponderação é 1,339. | | | | | |
| b. A constante de ponderação é 4,685. | | | | | |
| c. As constantes de ponderação são 1,700, 3,400 e 8,500 | | | | | |
| d. A constante de ponderação é 1,340*pi. | | | | | |

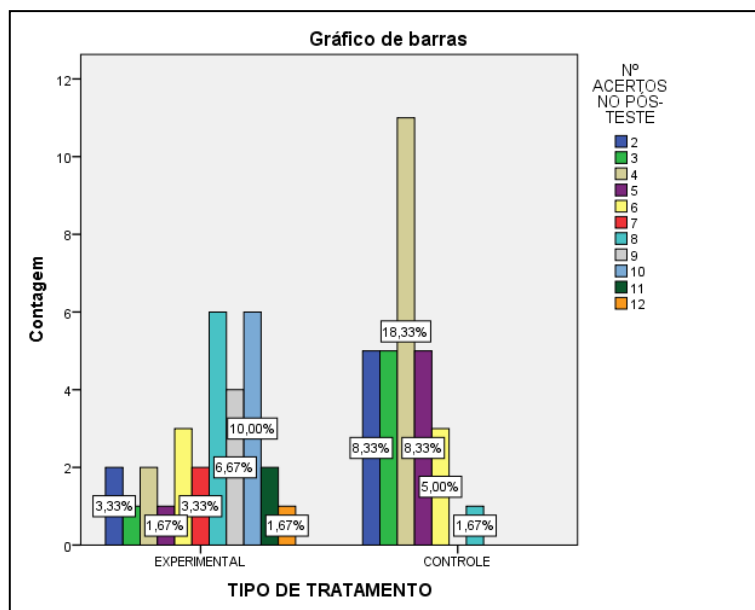


Gráfico 8-2. Frequências do número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.

8.3.1.3 Ganho

Tabela 8-6. Estatísticas descritivas para o ganho considerando o fator tratamento.

| Descritivas | | | | |
|-------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | | Estatística | Erro Padrão |
| GANHO | EXPERIMENTAL | Média | ,4160 | ,06293 |
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | ,2873 |
| | | | Limite superior | ,5447 |
| | | 5% da média aparada | ,4383 | |
| | | Mediana | ,5550 | |
| | | Variância | ,119 | |
| | | Desvio Padrão | ,34467 | |
| | | Mínimo | -,57 | |
| | | Máximo | ,91 | |
| | | Amplitude | 1,48 | |
| | | Amplitude interquartil | ,49 | |
| | | Assimetria | -1,050 | ,427 |
| | | Curtose | ,806 | ,833 |
| | CONTROLE | Média | ,0283 | ,03401 |
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | -,0412 |
| | | | Limite superior | ,0979 |
| | | 5% da média aparada | ,0306 | |

| | | | |
|--|------------------------|--------|------|
| | Mediana | ,0950 | |
| | Variância | ,035 | |
| | Desvio Padrão | ,18625 | |
| | Mínimo | -,38 | |
| | Máximo | ,44 | |
| | Amplitude | ,82 | |
| | Amplitude interquartil | ,28 | |
| | Assimetria | -,427 | ,427 |
| | Curtose | -,016 | ,833 |

Tabela 8-7. Estimadores M para o ganho considerando o fator tratamento.

| Estimadores M | | | | | |
|---|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | Estimador M de Huber ^a | Biponderação de Tukey ^b | Estimador M de Hampel ^c | Onda de Andrews ^d |
| GANHO | EXPERIMENTAL | ,4855 | ,5147 | ,4758 | ,5150 |
| | CONTROLE | ,0602 | ,0734 | ,0515 | ,0736 |
| a. A constante de ponderação é 1,339. | | | | | |
| b. A constante de ponderação é 4,685. | | | | | |
| c. As constantes de ponderação são 1,700, 3,400 e 8,500 | | | | | |
| d. A constante de ponderação é 1,340*pi. | | | | | |

Tabela 8-8. Frequências para o ganho considerando o fator experimental.

| GANHO | | | | | |
|--------|------|------------|-------------|--------------------|------------------------|
| | | Frequência | Porcentagem | Porcentagem válida | Porcentagem cumulativa |
| Válido | -,57 | 1 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | -,17 | 1 | 3,3 | 3,3 | 6,7 |
| | -,14 | 1 | 3,3 | 3,3 | 10,0 |
| | ,00 | 2 | 6,7 | 6,7 | 16,7 |
| | ,08 | 1 | 3,3 | 3,3 | 20,0 |
| | ,18 | 2 | 6,7 | 6,7 | 26,7 |
| | ,22 | 1 | 3,3 | 3,3 | 30,0 |
| | ,30 | 1 | 3,3 | 3,3 | 33,3 |
| | ,33 | 1 | 3,3 | 3,3 | 36,7 |
| | ,38 | 1 | 3,3 | 3,3 | 40,0 |
| | ,44 | 1 | 3,3 | 3,3 | 43,3 |

| | | | | | |
|--|-------|----|-------|-------|-------|
| | ,55 | 2 | 6,7 | 6,7 | 50,0 |
| | ,56 | 1 | 3,3 | 3,3 | 53,3 |
| | ,57 | 1 | 3,3 | 3,3 | 56,7 |
| | ,58 | 2 | 6,7 | 6,7 | 63,3 |
| | ,62 | 1 | 3,3 | 3,3 | 66,7 |
| | ,64 | 2 | 6,7 | 6,7 | 73,3 |
| | ,67 | 3 | 10,0 | 10,0 | 83,3 |
| | ,73 | 1 | 3,3 | 3,3 | 86,7 |
| | ,75 | 1 | 3,3 | 3,3 | 90,0 |
| | ,78 | 2 | 6,7 | 6,7 | 96,7 |
| | ,91 | 1 | 3,3 | 3,3 | 100,0 |
| | Total | 30 | 100,0 | 100,0 | |

Tabela 8-9. Frequências para o ganho considerando o fator controle.

| GANHO | | | | | |
|--------|-------|------------|-------------|--------------------|------------------------|
| | | Frequência | Porcentagem | Porcentagem válida | Porcentagem cumulativa |
| Válido | -,38 | 1 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | -,29 | 2 | 6,7 | 6,7 | 10,0 |
| | -,25 | 1 | 3,3 | 3,3 | 13,3 |
| | -,22 | 1 | 3,3 | 3,3 | 16,7 |
| | -,12 | 2 | 6,7 | 6,7 | 23,3 |
| | -,11 | 1 | 3,3 | 3,3 | 26,7 |
| | -,10 | 1 | 3,3 | 3,3 | 30,0 |
| | ,00 | 4 | 13,3 | 13,3 | 43,3 |
| | ,08 | 1 | 3,3 | 3,3 | 46,7 |
| | ,09 | 1 | 3,3 | 3,3 | 50,0 |
| | ,10 | 4 | 13,3 | 13,3 | 63,3 |
| | ,11 | 1 | 3,3 | 3,3 | 66,7 |
| | ,12 | 1 | 3,3 | 3,3 | 70,0 |
| | ,15 | 1 | 3,3 | 3,3 | 73,3 |
| | ,17 | 2 | 6,7 | 6,7 | 80,0 |
| | ,18 | 1 | 3,3 | 3,3 | 83,3 |
| | ,20 | 3 | 10,0 | 10,0 | 93,3 |
| | ,22 | 1 | 3,3 | 3,3 | 96,7 |
| | ,44 | 1 | 3,3 | 3,3 | 100,0 |
| | Total | 30 | 100,0 | 100,0 | |

8.3.2 Testes de normalidade e simetria

8.3.2.1 Testes de normalidade e simetria para o pré-teste

Tabela 8-10. Testes de normalidade para as distribuições do número de acertos no pré-teste considerando o fator tratamento.

| Testes de Normalidade | | | | | | | |
|--|--------------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | | Estatística | gl | Sig. | Estatística | gl | Sig. |
| Nº ACERTOS NO PRÉ-TESTE | EXPERIMENTAL | ,204 | 30 | ,003 | ,909 | 30 | ,014 |
| | CONTROLE | ,159 | 30 | ,051 | ,941 | 30 | ,094 |
| a. Correlação de Significância de Lilliefors | | | | | | | |

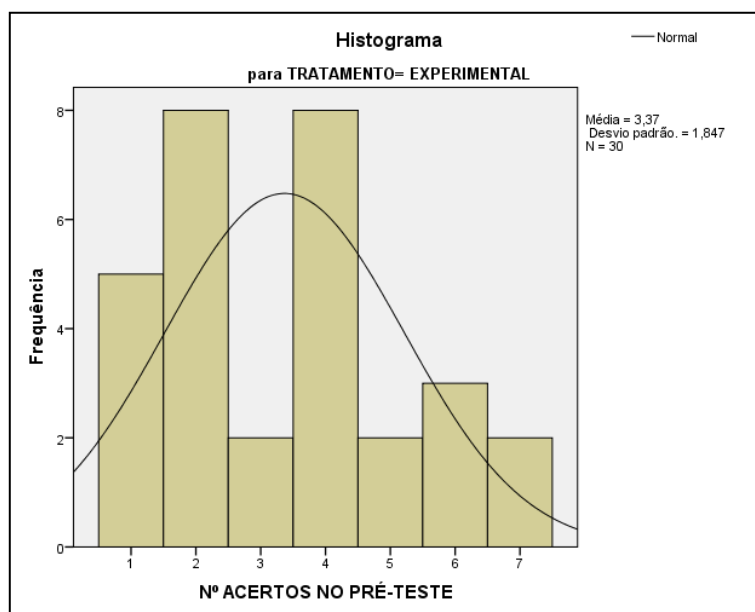


Gráfico 8-3. Distribuição do número de acertos no pré-teste para o grupo experimental com a curva normal sobreposta.

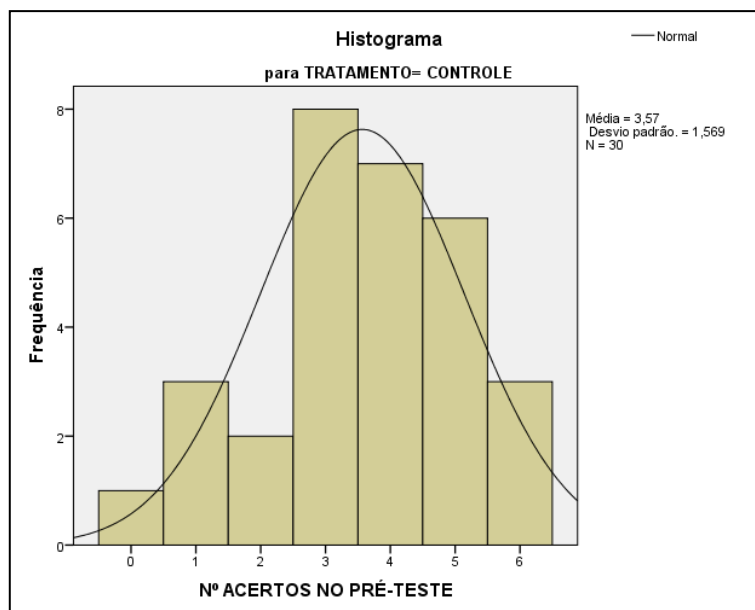


Gráfico 8-4. Distribuição do número de acertos no pré-teste para o grupo controle com a curva normal sobreposta.

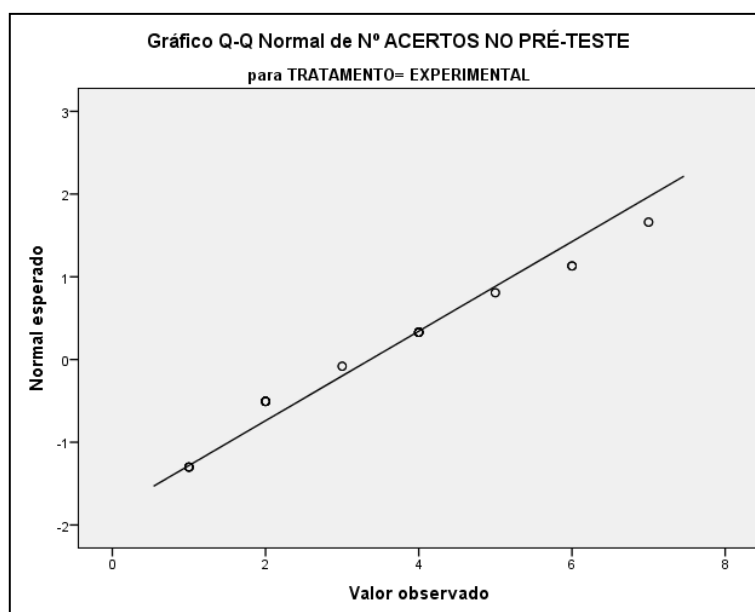


Gráfico 8-5. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento experimental.

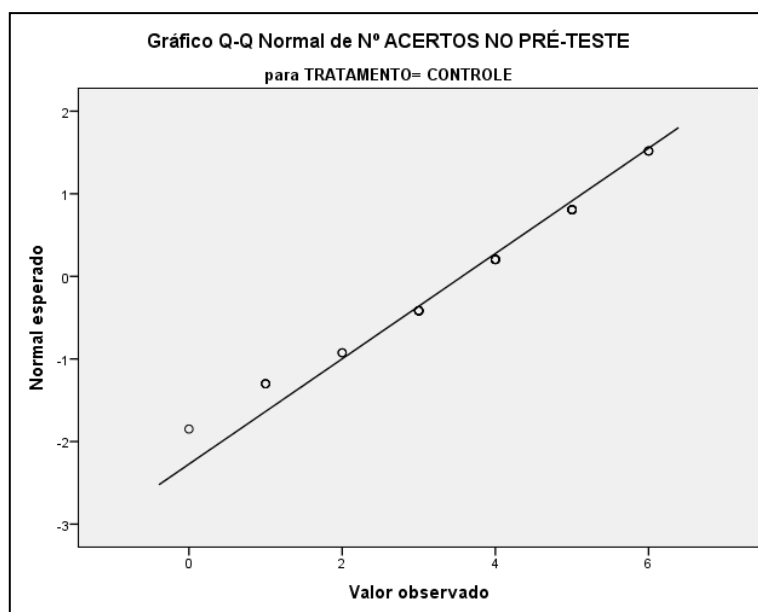


Gráfico 8-6. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento controle.

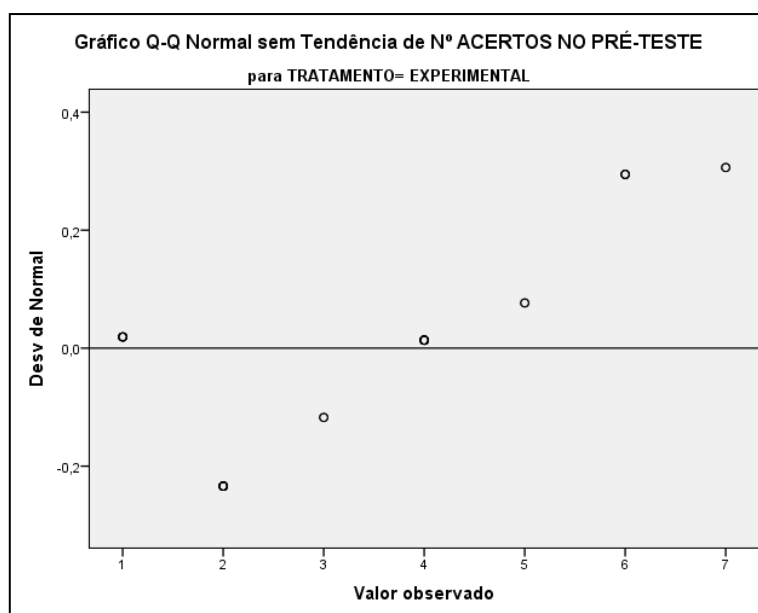


Gráfico 8-7. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento experimental.

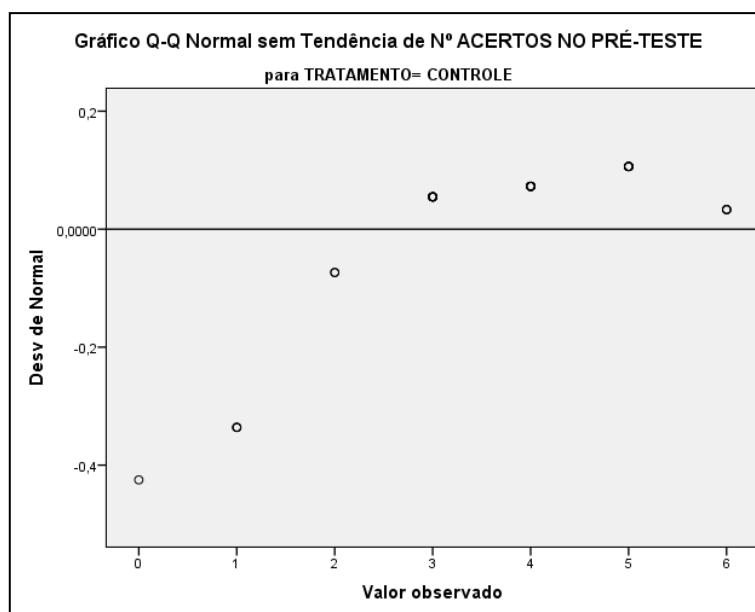


Gráfico 8-8. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pré-teste considerando o tratamento controle.

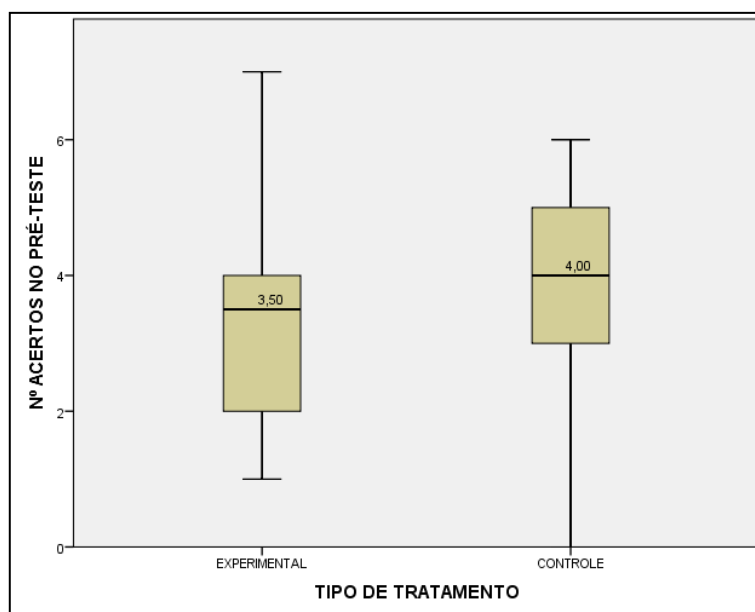


Gráfico 8-9. Caixas de bigodes para o número de acertos no pré-teste em função do fator tratamento.

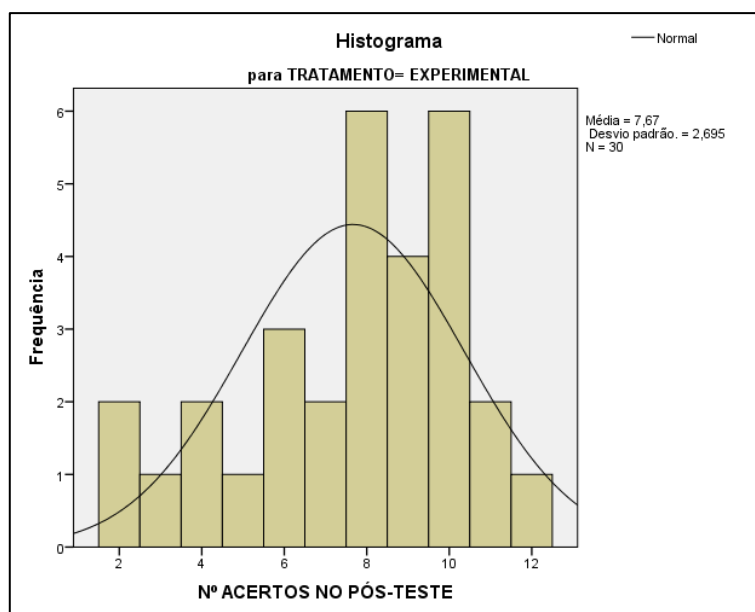


Gráfico 8-11. Distribuição do número de acertos no pós-teste para o grupo experimental com a curva normal sobreposta.

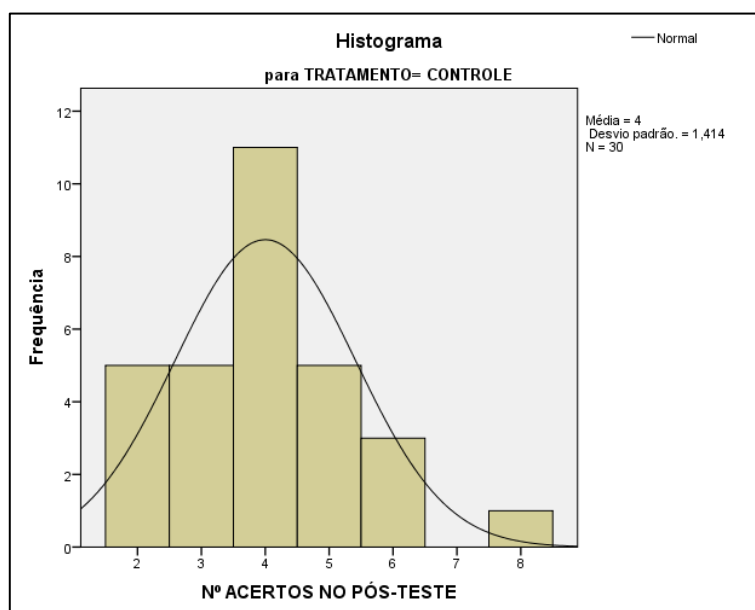


Gráfico 8-12. Distribuição do número de acertos no pós-teste para o grupo controle com a curva normal sobreposta.

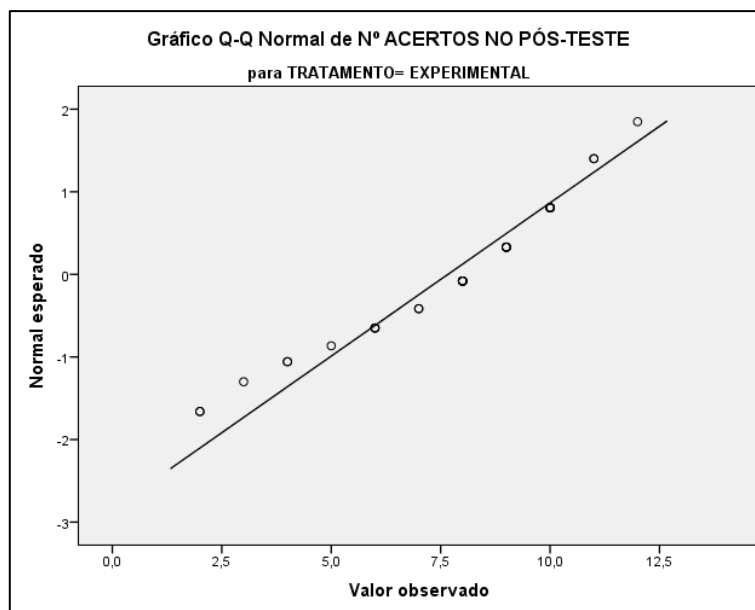


Gráfico 8-13. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento experimental.

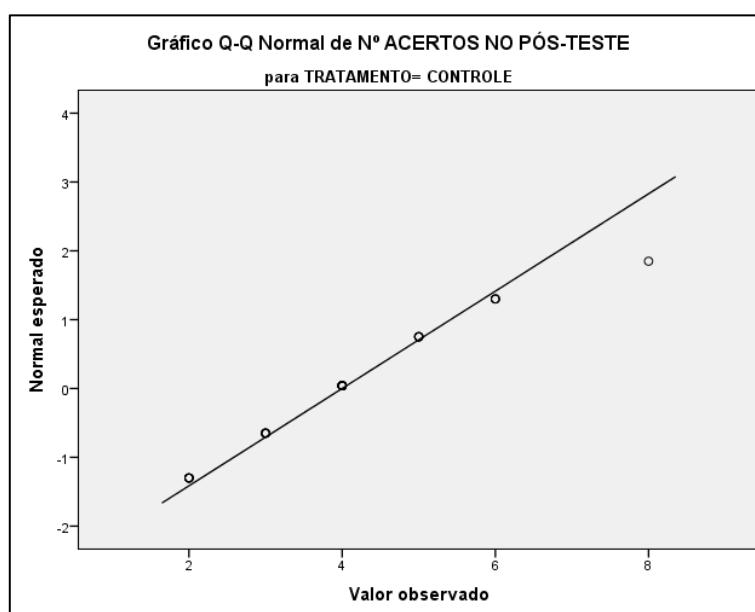


Gráfico 8-14. Gráfico Q-Q Normal para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento controle.

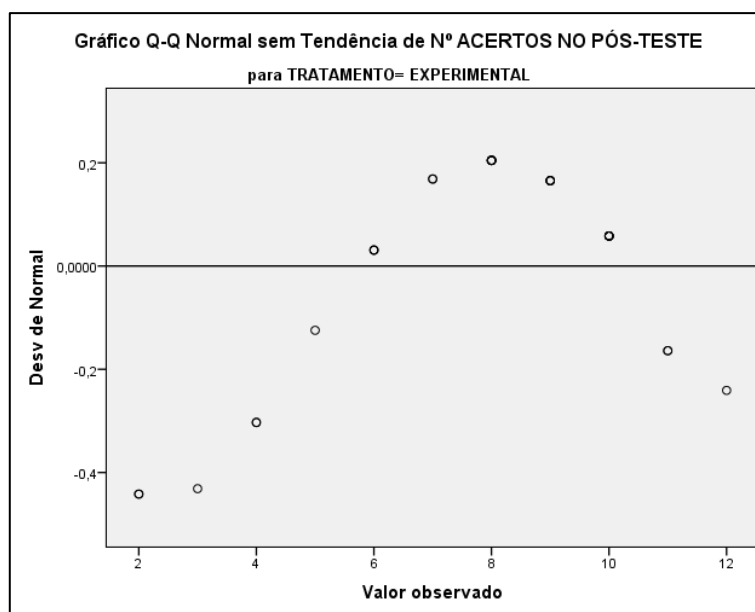


Gráfico 8-15. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento experimental.

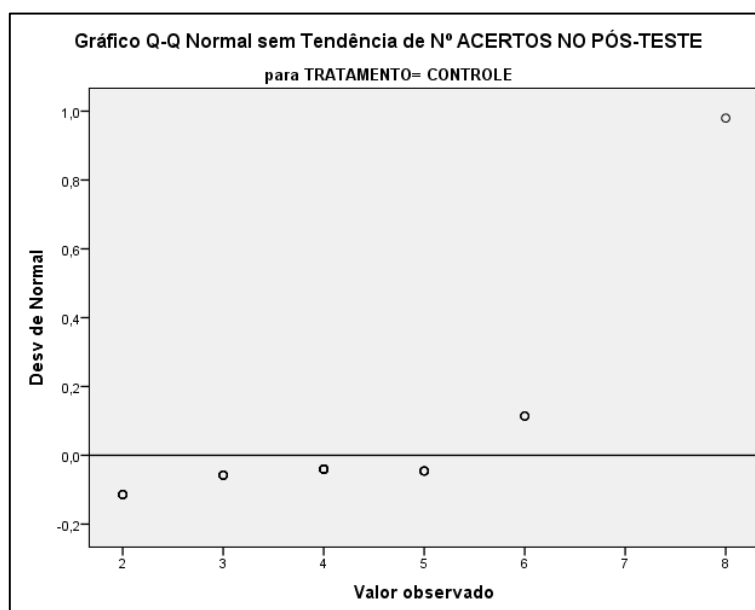


Gráfico 8-16. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o número de acertos no pós-teste considerando o tratamento controle.

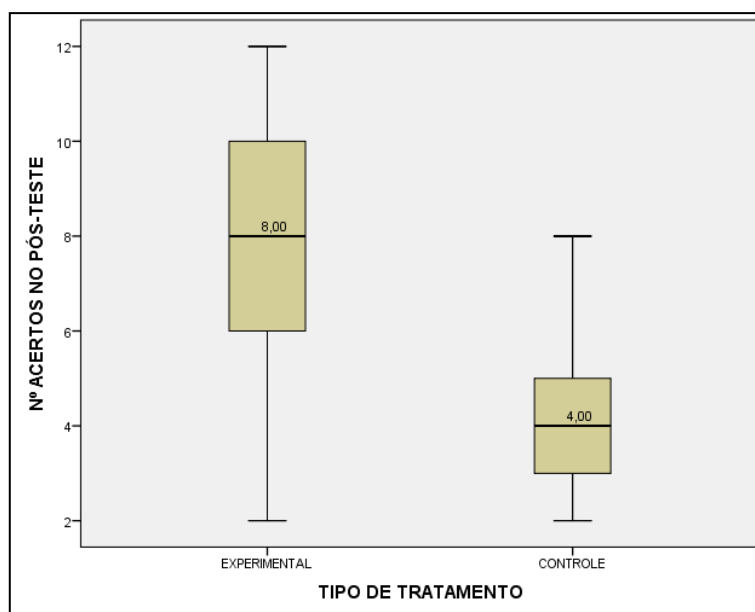


Gráfico 8-17. Caixas de bigodes para o número de acertos no pós-teste considerando o fator tratamento.

8.3.2.3 Testes de normalidade e simetria para o ganho (G)

Tabela 8-12. Testes de normalidade para as distribuições do ganho considerando o fator tratamento.

| Testes de Normalidade | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | | Estatística | gl | Sig. | Estatística | gl | Sig. |
| GANHO | EXPERIMENTAL | ,218 | 30 | ,001 | ,910 | 30 | ,015 |
| | CONTROLE | ,176 | 30 | ,019 | ,942 | 30 | ,103 |

a. Correlação de Significância de Lilliefors

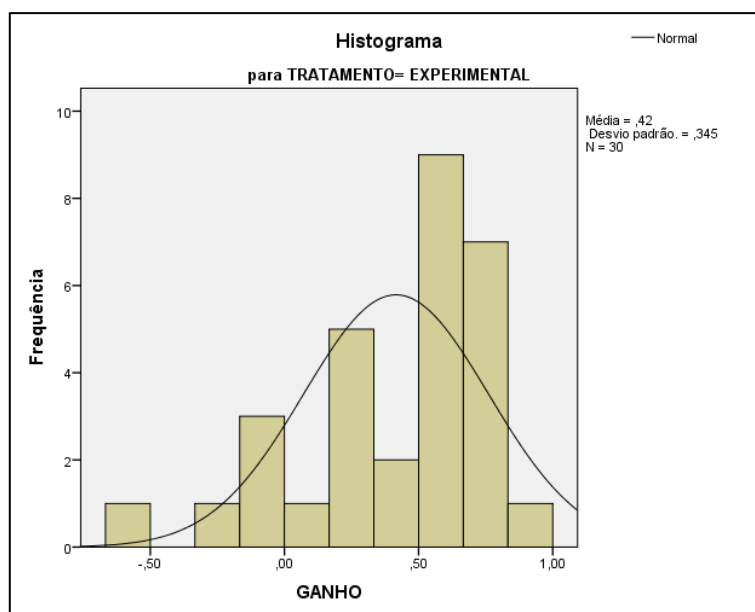


Gráfico 8-18. Distribuição do ganho para o grupo experimental com a curva normal sobreposta.

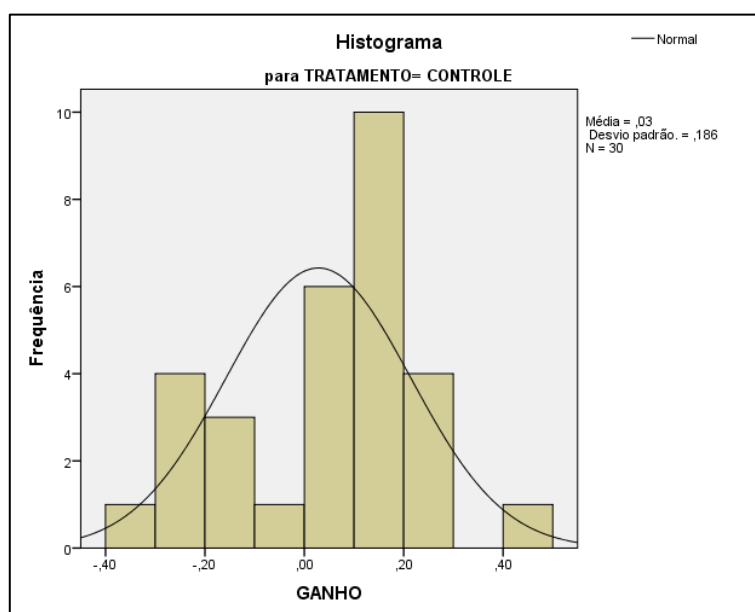


Gráfico 8-19. Distribuição do ganho para o grupo controle com a curva normal sobreposta.

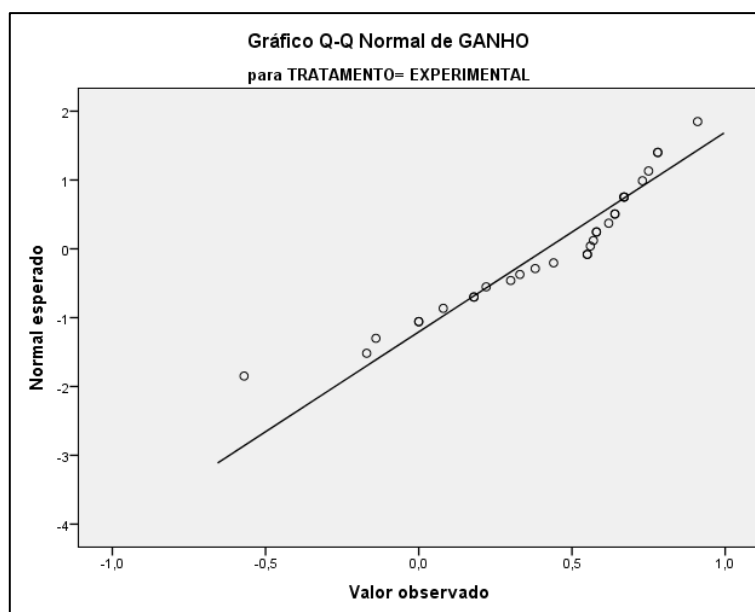


Gráfico 8-20. Gráfico Q-Q Normal para o ganho considerando o tratamento experimental.

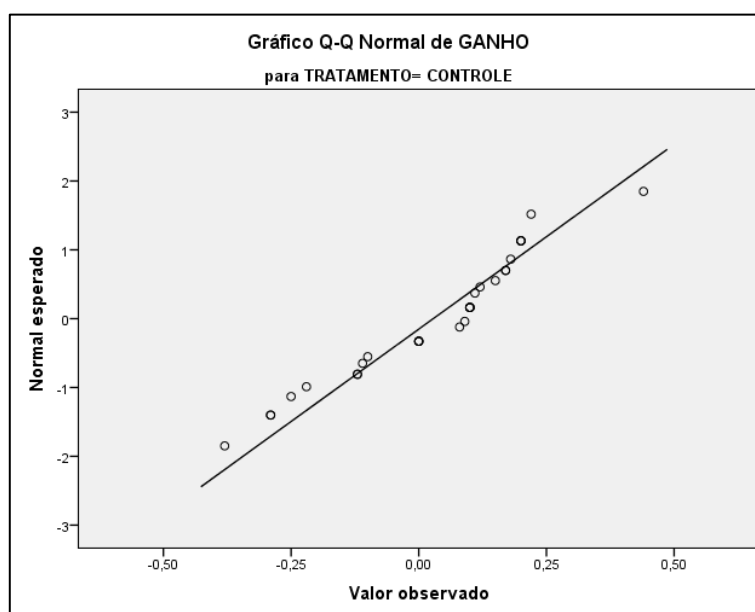


Gráfico 8-21. Gráfico Q-Q Normal para o ganho considerando o tratamento controle.

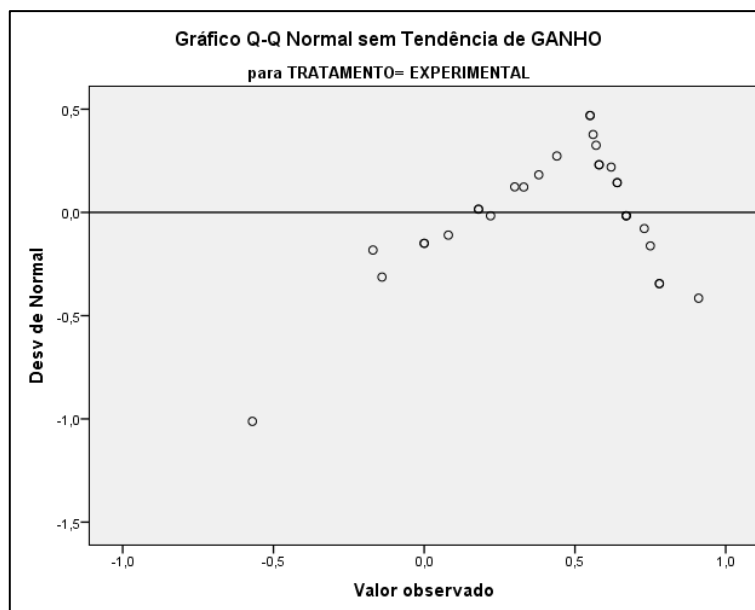


Gráfico 8-22. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o ganho considerando o tratamento experimental.

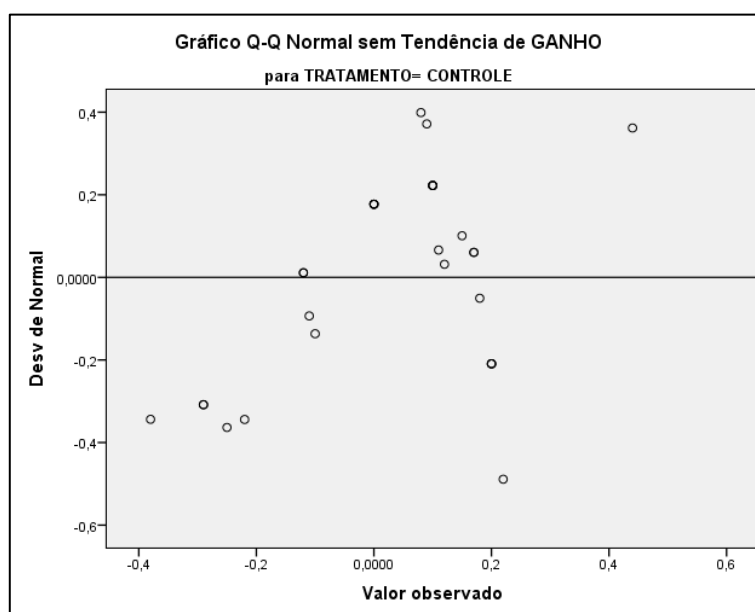


Gráfico 8-23. Gráfico Q-Q Normal sem Tendência para o ganho considerando o tratamento controle.

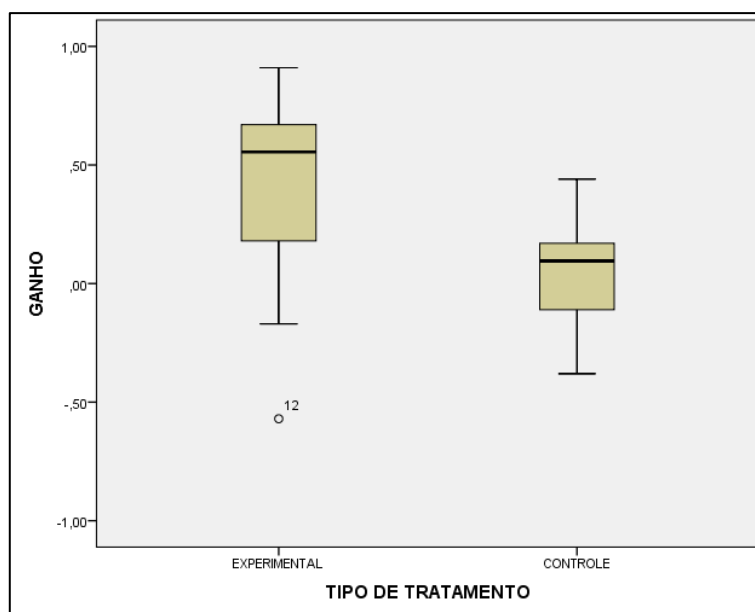


Gráfico 8-24. Caixas de bigodes para o ganho considerando o fator tratamento.

Tabela 8-13. Estatísticas descritivas para o ganho do grupo experimental sem “outlier”.

| Descritivas | | | | |
|-------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| | TIPO DE TRATAMENTO | | Estatística | Erro Padrão |
| GANHO | EXPERIMENTAL | Média | ,4500 | ,05481 |
| | | 95% Intervalo de Confiança para Média | Limite inferior | ,3377 |
| | | | Limite superior | ,5623 |
| | | 5% da média aparada | ,4606 | |
| | | Mediana | ,5600 | |
| | | Variância | ,087 | |
| | | Desvio Padrão | ,29516 | |
| | | Mínimo | -,17 | |
| | | Máximo | ,91 | |
| | | Amplitude | 1,08 | |
| | | Amplitude interquartil | ,47 | |
| | | Assimetria | -,679 | ,434 |
| | | Curtose | -,562 | ,845 |

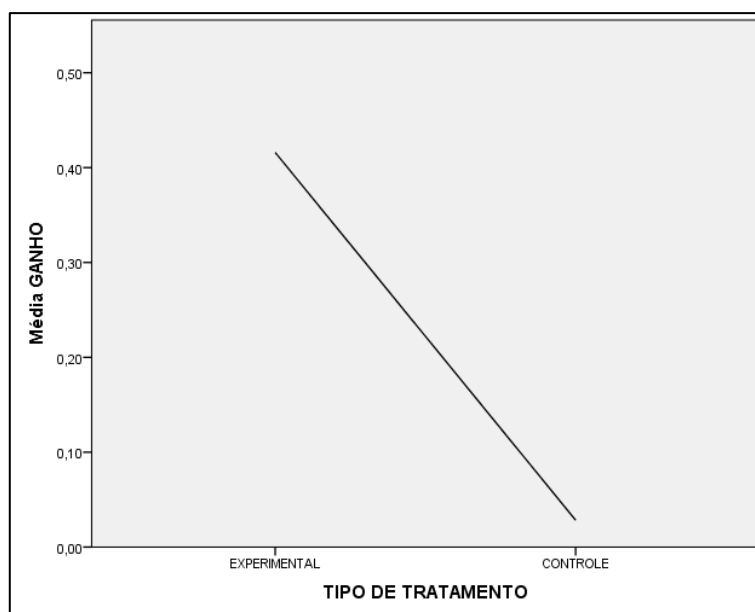


Gráfico 8-25. Gráfico de perfil para os grupos controle e experimental considerando as médias para o ganho.

8.3.3 Testes t de Student

8.3.3.1 Testes de correlação e testes t para comparação interna das médias do pré e pós-teste

Tabela 8-14. Coeficiente de correlação R de Pearson para o grupo experimental.

| Correlações | | | |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | | Nº ACERTOS NO PRÉ-TESTE | Nº ACERTOS NO PÓS- TESTE |
| Nº ACERTOS NO PRÉ- TESTE | Correlação de Pearson | 1 | -,078 |
| | Sig. (bilateral) | | ,680 |
| | N | 30 | 30 |
| Nº ACERTOS NO PÓS- TESTE | Correlação de Pearson | -,078 | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,680 | |
| | N | 30 | 30 |

| | | | | | | | | | |
|----------|--|-------|-------|------|--------|------|------------|----|------|
| Par 1 | Nº ACERTOS NO PRÉ- TESTE - Nº ACERTOS NO PÓS-TESTE | -,433 | 1,654 | ,302 | -1,051 | ,184 | - 1,435 | 29 | ,162 |
|----------|--|-------|-------|------|--------|------|------------|----|------|

Tabela 8-17. Teste t para amostras independentes considerando a pontuação no pré e pós-teste para o grupo experimental.

| Teste de amostras independentes | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--|------|----------------------------------|--------|------------------|-----------------|--------------------------|---|----------|
| | | Teste de Levene para igualdade de variâncias | | teste-t para Igualdade de Médias | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferença média | Erro padrão da diferença | 95% Intervalo de Confiança da Diferença | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| PONTUAÇÃO | Variâncias iguais assumidas | 3,123 | ,082 | 7,208 | 58 | ,000 | 4,300 | ,597 | 3,106 | 5,494 |
| | Variâncias iguais não assumidas | | | 7,208 | 51,321 | ,000 | 4,300 | ,597 | 3,103 | 5,497 |

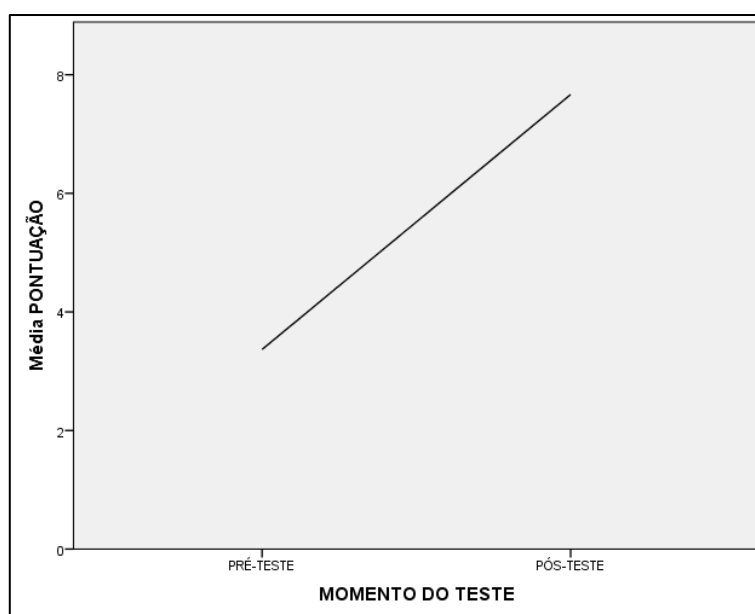


Gráfico 8-27. Gráfico de perfil para o grupo experimental considerando as médias para o pré e pós-teste.

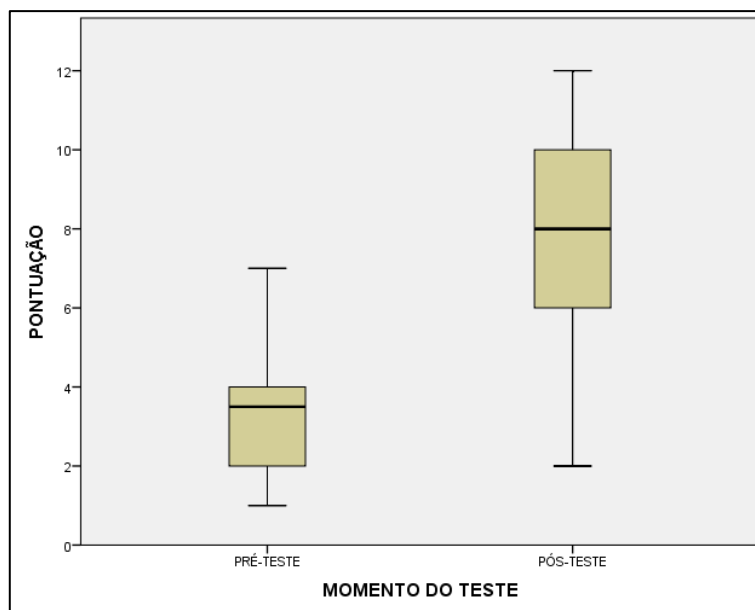


Gráfico 8-28. Caixas de bigodes para o pré e pós-teste considerando o grupo experimental.

8.3.3.2 Testes t para comparação entre os dois grupos de tratamento

8.3.3.2.1 Testes t para comparação das médias do pré-teste

Tabela 8-18. Teste de Levene e Teste t para amostras independentes considerando o número de acertos no pré-teste e o fator tratamento.

| Teste de amostras independentes | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--|------|----------------------------------|--------|------------------|-----------------|--------------------------|---|----------|
| | | Teste de Levene para igualdade de variâncias | | teste-t para Igualdade de Médias | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferença média | Erro padrão da diferença | 95% Intervalo de Confiança da Diferença | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Nº ACERTOS NO PRÉ-TESTE | Variâncias iguais assumidas | 1,649 | ,204 | ,452 | 58 | ,653 | ,200 | ,442 | -,686 | 1,086 |
| | Variâncias iguais não assumidas | | | ,452 | 56,516 | ,653 | ,200 | ,442 | -,686 | 1,086 |

8.3.3.2.2 Testes t para comparação das médias do ganho (G)

Tabela 8-19. Teste de Levene e Teste t para amostras independentes considerando o ganho e o fator tratamento.

| Teste de amostras independentes | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--|------|----------------------------------|--------|------------------|-----------------|--------------------------|---|----------|
| | | Teste de Levene para igualdade de variâncias | | teste-t para Igualdade de Médias | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferença média | Erro padrão da diferença | 95% Intervalo de Confiança da Diferença | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| GANHO | Variâncias iguais assumidas | 10,372 | ,002 | 5,420 | 58 | ,000 | ,38767 | ,07153 | ,24449 | ,53085 |
| | Variâncias iguais não assumidas | | | 5,420 | 44,606 | ,000 | ,38767 | ,07153 | ,24357 | ,53177 |

8.4 Anexo 4 – tabelas estatísticas

Tabela 8-20. Tabela Quantis da estatística de Kolmogorov-Smirnov.

| | Nível de significância | | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| n | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,01 |
| 5 | 0,45 | 0,51 | 0,56 | 0,67 |
| 10 | 0,32 | 0,37 | 0,41 | 0,49 |
| 15 | 0,27 | 0,30 | 0,34 | 0,40 |
| 20 | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,36 |
| 25 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,32 |
| 30 | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,29 |
| 35 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,27 |
| 40 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,25 |
| 45 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,24 |
| 50 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,23 |
| Valores maiores | $\frac{1,07}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1,22}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1,36}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1,63}{\sqrt{n}}$ |

Tabela 8-21. Tabela Quantis da estatística de Shapiro-Wilk.

| | Nível de significância | | | | | | | | |
|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| 3 | 0,753 | 0,756 | 0,767 | 0,789 | 0,959 | 0,998 | 0,999 | 1,000 | 1,000 |
| 4 | 0,687 | 0,707 | 0,748 | 0,792 | 0,935 | 0,987 | 0,992 | 0,996 | 0,997 |
| 5 | 0,686 | 0,715 | 0,762 | 0,806 | 0,927 | 0,979 | 0,986 | 0,991 | 0,993 |
| 6 | 0,713 | 0,743 | 0,788 | 0,826 | 0,927 | 0,974 | 0,981 | 0,986 | 0,989 |
| 7 | 0,730 | 0,760 | 0,803 | 0,838 | 0,928 | 0,972 | 0,979 | 0,985 | 0,988 |
| 8 | 0,749 | 0,778 | 0,818 | 0,851 | 0,932 | 0,972 | 0,978 | 0,984 | 0,987 |
| 9 | 0,764 | 0,791 | 0,829 | 0,859 | 0,935 | 0,972 | 0,978 | 0,984 | 0,986 |
| 10 | 0,781 | 0,806 | 0,842 | 0,869 | 0,938 | 0,972 | 0,978 | 0,983 | 0,986 |
| 11 | 0,792 | 0,817 | 0,850 | 0,876 | 0,940 | 0,973 | 0,979 | 0,984 | 0,986 |

[illegible]

Tabela 8-22. Tabela das distribuições t ou normal (*Tabela das distribuições t ou normal, 2017*).

| Distribuição t de Student - t_n | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| Os valores tabelados correspondem aos pontos x tais que: $P(t_n \leq x)$ | | | | | | | | |
| | $P(t_n \leq x)$ | | | | | | | |
| n | 0,600 | 0,750 | 0,900 | 0,950 | 0,975 | 0,990 | 0,995 | 0,9995 |
| 1 | 0,325 | 1,000 | 3,078 | 6,314 | 12,706 | 31,821 | 63,657 | 636,619 |
| 2 | 0,289 | 0,816 | 1,886 | 2,920 | 4,303 | 6,965 | 9,925 | 31,598 |
| 3 | 0,277 | 0,765 | 1,638 | 2,353 | 3,182 | 4,541 | 5,841 | 12,924 |
| 4 | 0,271 | 0,741 | 1,533 | 2,132 | 2,776 | 3,747 | 4,604 | 8,610 |
| 5 | 0,267 | 0,727 | 1,476 | 2,015 | 2,571 | 3,365 | 4,032 | 6,869 |
| 6 | 0,265 | 0,718 | 1,440 | 1,943 | 2,447 | 3,143 | 3,707 | 5,959 |
| 7 | 0,263 | 0,711 | 1,415 | 1,895 | 2,365 | 2,998 | 3,499 | 5,408 |
| 8 | 0,262 | 0,706 | 1,397 | 1,860 | 2,306 | 2,896 | 3,355 | 5,041 |
| 9 | 0,261 | 0,703 | 1,383 | 1,833 | 2,262 | 2,821 | 3,250 | 4,781 |
| 10 | 0,260 | 0,700 | 1,372 | 1,812 | 2,228 | 2,764 | 3,169 | 4,587 |
| 11 | 0,260 | 0,697 | 1,363 | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 | 4,437 |
| 12 | 0,259 | 0,695 | 1,356 | 1,782 | 2,179 | 2,681 | 3,055 | 4,318 |
| 13 | 0,259 | 0,694 | 1,350 | 1,771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 | 4,221 |
| 14 | 0,258 | 0,692 | 1,345 | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 | 4,140 |
| 15 | 0,258 | 0,691 | 1,341 | 1,753 | 2,131 | 2,602 | 2,947 | 4,073 |
| 16 | 0,258 | 0,690 | 1,337 | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 | 4,015 |
| 17 | 0,257 | 0,689 | 1,333 | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,898 | 3,965 |
| 18 | 0,257 | 0,688 | 1,330 | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 | 3,922 |
| 19 | 0,257 | 0,688 | 1,328 | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 | 3,883 |
| 20 | 0,257 | 0,687 | 1,325 | 1,725 | 2,086 | 2,528 | 2,845 | 3,850 |
| 21 | 0,257 | 0,686 | 1,323 | 1,721 | 2,080 | 2,518 | 2,831 | 3,819 |
| 22 | 0,256 | 0,686 | 1,321 | 1,717 | 2,074 | 2,508 | 2,819 | 3,792 |
| 23 | 0,256 | 0,685 | 1,319 | 1,714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 | 3,768 |
| 24 | 0,256 | 0,685 | 1,318 | 1,711 | 2,064 | 2,492 | 2,797 | 3,745 |
| 25 | 0,256 | 0,684 | 1,316 | 1,708 | 2,060 | 2,485 | 2,787 | 3,725 |
| 26 | 0,256 | 0,684 | 1,315 | 1,706 | 2,056 | 2,479 | 2,779 | 3,707 |
| 27 | 0,256 | 0,684 | 1,314 | 1,703 | 2,052 | 2,473 | 2,771 | 3,689 |
| 28 | 0,256 | 0,683 | 1,313 | 1,701 | 2,048 | 2,467 | 2,763 | 3,674 |
| 29 | 0,256 | 0,683 | 1,311 | 1,699 | 2,045 | 2,462 | 2,756 | 3,660 |
| 30 | 0,256 | 0,683 | 1,310 | 1,697 | 2,042 | 2,457 | 2,750 | 3,646 |
| 40 | 0,255 | 0,681 | 1,303 | 1,684 | 2,021 | 2,423 | 2,704 | 3,551 |
| 60 | 0,254 | 0,679 | 1,296 | 1,671 | 2,000 | 2,390 | 2,660 | 3,460 |
| 120 | 0,254 | 0,677 | 1,289 | 1,658 | 1,980 | 2,358 | 2,617 | 3,373 |
| ∞ | 0,253 | 0,674 | 1,282 | 1,645 | 1,960 | 2,326 | 2,576 | 3,291 |

Tabela 8-23. Potência do teste t para $m_A = m_B$ e $\alpha = 0,05$ (Cohen, 2013).

| n | d_c | d | | | | | | | | | | |
|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | .10 | .20 | .30 | .40 | .50 | .60 | .70 | .80 | 1.00 | 1.20 | 1.40 |
| 8 | 1.07 | 05 | 07 | 09 | 11 | 15 | 20 | 25 | 31 | 46 | 60 | 73 |
| 9 | 1.00 | 05 | 07 | 09 | 12 | 16 | 22 | 28 | 35 | 51 | 65 | 79 |
| 10 | .94 | 06 | 07 | 10 | 13 | 18 | 24 | 31 | 39 | 56 | 71 | 84 |
| 11 | .89 | 06 | 07 | 10 | 14 | 20 | 26 | 34 | 43 | 61 | 76 | 87 |
| 12 | .85 | 06 | 08 | 11 | 15 | 21 | 28 | 37 | 46 | 65 | 80 | 90 |
| 13 | .81 | 06 | 08 | 11 | 16 | 23 | 31 | 40 | 50 | 69 | 83 | 93 |
| 14 | .78 | 06 | 08 | 12 | 17 | 25 | 33 | 43 | 53 | 72 | 86 | 94 |
| 15 | .75 | 06 | 08 | 12 | 18 | 26 | 35 | 45 | 56 | 75 | 88 | 96 |
| 16 | .72 | 06 | 08 | 13 | 19 | 28 | 37 | 48 | 59 | 78 | 90 | 97 |
| 17 | .70 | 06 | 09 | 13 | 20 | 29 | 39 | 51 | 62 | 80 | 92 | 98 |
| 18 | .68 | 06 | 09 | 14 | 21 | 31 | 41 | 53 | 64 | 83 | 94 | 98 |
| 19 | .66 | 06 | 09 | 15 | 22 | 32 | 43 | 55 | 67 | 85 | 95 | 99 |
| 20 | .64 | 06 | 09 | 15 | 23 | 33 | 45 | 58 | 69 | 87 | 96 | 99 |
| 21 | .62 | 06 | 10 | 16 | 24 | 35 | 47 | 60 | 71 | 88 | 97 | 99 |
| 22 | .61 | 06 | 10 | 16 | 25 | 36 | 49 | 62 | 73 | 90 | 97 | 99 |
| 23 | .59 | 06 | 10 | 17 | 26 | 38 | 51 | 64 | 75 | 91 | 98 | * |
| 24 | .58 | 06 | 10 | 17 | 27 | 39 | 53 | 66 | 77 | 92 | 98 | |
| 25 | .57 | 06 | 11 | 18 | 28 | 41 | 55 | 68 | 79 | 93 | 99 | |
| 26 | .56 | 06 | 11 | 19 | 29 | 42 | 56 | 69 | 80 | 94 | 99 | |
| 27 | .55 | 06 | 11 | 19 | 30 | 43 | 58 | 71 | 82 | 95 | 99 | |
| 28 | .54 | 07 | 11 | 20 | 31 | 45 | 59 | 73 | 83 | 96 | 99 | |
| 29 | .53 | 07 | 12 | 20 | 32 | 46 | 61 | 74 | 85 | 96 | 99 | |
| 30 | .52 | 07 | 12 | 21 | 33 | 47 | 63 | 76 | 86 | 97 | * | |
| 31 | .51 | 07 | 12 | 21 | 34 | 49 | 64 | 77 | 87 | 97 | | |
| 32 | .50 | 07 | 12 | 22 | 35 | 50 | 65 | 78 | 88 | 98 | | |
| 33 | .49 | 07 | 13 | 22 | 36 | 51 | 67 | 80 | 89 | 98 | | |
| 34 | .48 | 07 | 13 | 23 | 37 | 53 | 68 | 81 | 90 | 98 | | |
| 35 | .48 | 07 | 13 | 23 | 38 | 54 | 70 | 82 | 91 | 98 | | |
| 36 | .47 | 07 | 13 | 24 | 39 | 55 | 71 | 83 | 92 | 99 | | |
| 37 | .46 | 07 | 14 | 25 | 39 | 56 | 72 | 84 | 92 | 99 | | |
| 38 | .46 | 07 | 14 | 25 | 40 | 57 | 73 | 85 | 93 | 99 | | |
| 39 | .45 | 07 | 14 | 26 | 41 | 58 | 74 | 86 | 94 | 99 | | |
| 40 | .45 | 07 | 14 | 26 | 42 | 60 | 75 | 87 | 94 | 99 | | |
| 42 | .43 | 07 | 15 | 27 | 44 | 62 | 77 | 89 | 95 | 99 | | |
| 44 | .42 | 07 | 15 | 28 | 46 | 64 | 79 | 90 | 96 | * | | |
| 46 | .41 | 08 | 16 | 30 | 48 | 66 | 81 | 91 | 97 | | | |
| 48 | .41 | 08 | 16 | 31 | 49 | 68 | 83 | 92 | 97 | | | |

8.5 Anexo 5 – questionário respondido pelos professores durante a formação “Photonics Explorer”



Participação na formação “Photonics Explorer”

Que cursos e níveis ensina atualmente? *8º e 9º CFA e 11º FQA*

Avaliação da formação:

| | Má | Podia ser melhor | Boa | Muito boa | Excelente |
|--------------------------------|----|------------------|-----|-----------|-----------|
| Programa/conteúdos da formação | | | | | X |

Comentários sobre o programa/conteúdos da formação:

Conteúdos de grande atualidade e com possíveis aplicações tecnológicas. Muito motivador

| | Má | Podia ser melhor | Boa | Muito boa | Excelente |
|---|----|------------------|-----|-----------|-----------|
| Apresentação da formação pelos formadores | | | | | X |

Comentários sobre a apresentação:

Muito interessante porque permitiu uma atualização de conhecimentos

| | Má | Podia ser melhor | Boa | Muito boa | Excelente |
|----------------------------|----|------------------|-----|-----------|-----------|
| Trabalho prático realizado | | | | | X |

Comentários sobre o trabalho prático realizado:

Experiências muito fáceis de realizar e implementar em sala de aula

Qual é a sua opinião geral sobre a formação?

Muito interessante.

Qual é a sua opinião geral sobre o Photonics Explorer?

Muito útil, porque permite explorar muitos conteúdos

Quantos estudantes espera envolver em um ou mais módulos do Photonics Explorer neste ou durante o próximo ano? R: *cerca de 60*

Iniciativa com o apoio de:



**LIGHT2015
PHOTONICS**
DISCOVER THE POWER OF LIGHT